

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při soustružení
Influence of Cutting Edges Rounding Size for Durability Inserts in Turning

Student:

Filip Najman

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Najman**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při soustružení**
Influence of Cutting Edges Rounding Size for Durability Inserts in Turning

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Geometrie a mikrogeometrie VBD.
3. Možnosti ovlivňování trvanlivosti VBD.
4. Diskuze experimentálních prací.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80-7078-941-7.
- [3] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 9.5. 2013

Majmon Filip

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 9.5. 2013

Najman Filip

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Filip Najman

Adresa trvalého pobytu autora práce: Plechy 64, Nový Malín, 78803

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

NAJMAN, F. *Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při soustružení: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2013. s. 58, 3 přílohy, Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bakalářská práce zkoumá vliv velikosti zaoblení řezné hrany u vyměnitelných břitových destiček (VBD) na trvanlivosti. Zadavatelem téma této práce je společnost Pramet Tools s.r.o., která v budoucnu zavede na trh VBD vyrobené z nového materiálu speciálně určeného na nerezovou ocel. V úvodu práce je popsána teorie opotřebení bříty a jeho doprovodných jevů, problematika utváření třísky a další faktory týkající se trvanlivosti při obrábění kovů. Ve zkušebně společnosti Pramet Tools s.r.o. byla provedena praktická zkouška opotřebení VBD o třech velikostech zaoblení. Z výsledků zkoušky vychází doporučení vhodné velikosti zaoblení s ohledem na výslednou trvanlivost. Výsledná doporučení budou aplikovány do výroby u Pramet Tools s.r.o.

Klíčová slova

Zaoblení řezné hrany, drsnost, opotřebení nástroje, trvanlivost nástroje, zkouška trvanlivosti

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

NAJMAN, F. *Influence of Cutting Edges Rounding Size for Durability Inserts in Turning: Bachelor Thesis*. Ostrava: Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 2013. p. 58, 3 annex, Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bachelor thesis examines the influence of cutting edges rounding size for durability inserts. Theme submitter of this work is the company Pramet Tools Ltd., which in the future will introduce to the market inserts made of a new material specially designed for stainless steel. In the introduction is described the theory of tool wear and its accompanying phenomena, the formation issue of splinter and other factors relates the durability of the metalworking. In the laboratory of Pramet Tools Ltd. was performed a practical wear inserts in three sizes rounding. From the test results will be based recommendation of suitable size rounding with regard to the final durability. The resulting recommendations will be applied in the factory Pramet Tools Ltd.

Key words

Rounding cutting edge, roughness, tool wear, tool life, test of tool life

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých zkratk a symbolů	7
Úvod	8
1. Obecná charakteristika daného problému	9
1.1. Proces obrábění.....	9
1.2. Řezný klín	10
1.3. Síly při soustružení.....	13
1.4. Zpevňování obrobené plochy	15
2. Geometrie a mikrogeometrie VBD.....	16
2.1. Geometrie břitu obráběcího nástroje	16
2.2. Zaoblení ostří	22
2.3. Slinuté karbidy	24
2.4. Opatření VBD.....	25
2.5. Nežádoucí jevy	30
3. Možnosti ovlivňování trvanlivosti VBD	32
3.1. Vliv řezných podmínek na teplotu.....	32
3.2. Vliv řezných podmínek na trvanlivost	33
3.3. Soustružení nerezových ocelí	34
4. Diskuse experimentálních prací	35
4.1. Testované vzorky VBD.....	35
4.2. Testování trvanlivosti VBD	40
4.3. Vyhodnocení zkoušky	45
5. Technicko-ekonomické zhodnocení	49
Poděkování.....	50
Zdroje	51
Přílohy:	53

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/symbol	Jednotka	Popis
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
F	[N]	Síla
T	[min]	Trvanlivost
Ra	[μm]	Střední aritmetická úchylka profilu
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost
n	[ot/min]	Otáčky
f_{ot}	[mm/ot]	Posuv na otáčku
f_{min}	[mm/min]	Posuv za minutu
a_p	[mm]	Hloubka řezu
K_{vo}	[-]	Objemový součinitel třísky
V_t	[m^3]	Objem třísek při jejich hromadění
V_m	[m^3]	Objem třísek před obráběním
F_f	[N]	Síla ve směru posuvu
F_p	[N]	Síla ve směru normály k řezané ploše
F_c	[N]	Síla řezání kolmá k F_p a F_f
P	[W]	Výkon
M_k	[Nm]	Krouticí moment
RO	[-]	Rychlořezná ocel
SK	[-]	Slinutý karbid
HRA	[HRA]	Tvrdost podle Rockwella
HPDC	[-]	Koncept vysokotlakého chlazení
K	[%]	Řezivost
T	[min]	Trvanlivost
Ra	[μm]	Střední aritmetická úchylka profilu

Úvod

Rozvoj technologie obrábění jako jedné z nejvýznamnějších technologií zabezpečujících požadované rozměry a jakost povrchu, je do značné míry reprezentován rozvojem obráběcích strojů a nástrojů. V posledních letech se vývoj urychlil použitím výkonných číslicově řízených obráběcích strojů. S takovými stroji a vývojem nových, zpravidla hůře obrobitelných konstrukčních materiálů, souvisí stále vyšší nároky na nástroje na požadované vysoké řezné parametry a vysokou kvalitu obrobeného povrchu.

Jelikož pořizovací ceny obráběcích center jsou značné, stává se z ekonomických důvodů jedním ze základních požadavků i vysoká spolehlivost obráběcího procesu a trvanlivost břitů nástroje. Technologický a ekonomický význam je do značné míry dán materiálem a geometrií těchto nástrojů. Vývoj nových materiálů pro obrábění směřuje neustále kupředu. Od nejčastěji používaných slinutých karbidů pro běžné operace v obrábění, po velice odolnou řeznou keramiku a kubický nitrid boru pro tvrdé materiály až po syntetický diamant pro dokončování přesných obrobků, obrábění kalené oceli a keramiky.

Vývoj nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou probíhá již několik desetiletí a nikdy nepřestane zaměstnávat odborníky ve vývojových odděleních. Je žádoucí směřovat vývoj nových nástrojů k co nejvyšší trvanlivosti při velkém zatížení nástroje a s výbornými vlastnostmi obrobeného povrchu.

Svoji bakalářskou práci sem zpracovával pod dohledem odborníků z vývojového centra společnosti Pramet Tools, jedním z mnoha výrobců obráběcích nástrojů ze slitého karbidu.

O společnosti Pramet Tools

„PrametTools se zabývá vývojem, výrobou a prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Všechny produkty jsou vyráběny v České republice (EU). Prodávány jsou prostřednictvím sítě vlastních poboček a rovněž v síti smluvních partnerů. Pramet nástroje si pravidelně nacházejí zákazníky ve více než 50 zemích světa. Dceřiné společnosti máme v devíti zemích, včetně zámoří, například v Indii a Číně.

Pobočky doplňuje reprezentační kancelář na Ukrajině. Navazujeme na více než šedesátiletou tradici výroby slinutého karbidu v Šumperku (Česká republika), kde sídlí náš výrobní závod a zároveň centrála společnosti. Zde se nachází i veškerá další oddělení, včetně oddělení výzkumu a vývoje, logistiky či marketingu. Cílem Pramet je obsluhovat 1 % světového trhu, což znamená zařazení mezi 20 největších světových firem.

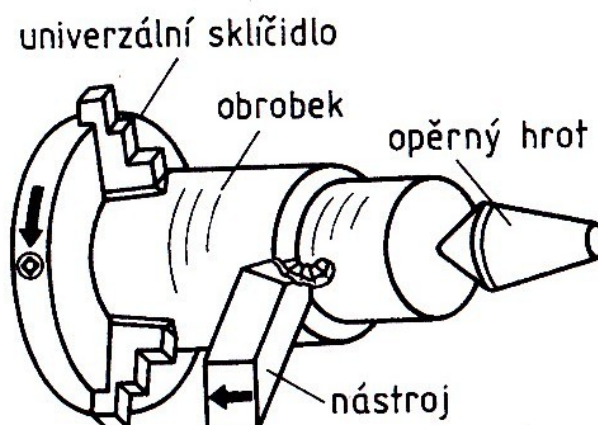
Zákazníkům nabízíme žádané produkty z oblasti všeobecného obrábění a současně se specializujeme na segmenty Železnice a Metalurgie, ve kterých chceme, a věříme, že již i jsme, být světovou špičkou a inovátorem. Zákazníkům jsou k dispozici nástroje nejnovější generace a průběžně uvádíme rovněž moderní výkonné materiály a povlaky.“¹⁶

1. Obecná charakteristika daného problému

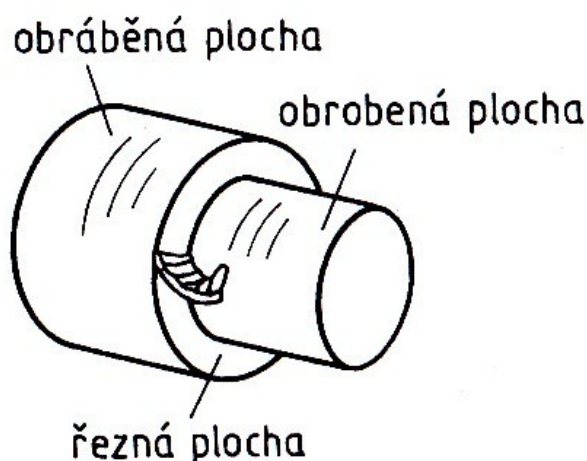
1.1. Proces obrábění

Obrábění je technologický proces, při němž se přebytečný materiál odděluje pomocí břitu rezného nástroje, od obrobku ve formě třísky. Tento proces probíhá v soustavě stroj-nástroj-obrobek. Stroj zastává sklíčidlo a opěrný hrot.

Obrobek je obráběný předmět. Ten se skládá z několika ploch. Obráběné plochy, což je část povrchu, ze které je odebírán materiál. Obrobené plochy, které je vzniklá obráběním. Řezné plochy což je část, kde je břitem odebíraná tříska.



Obr. 1.1 Části soustavy ⁴

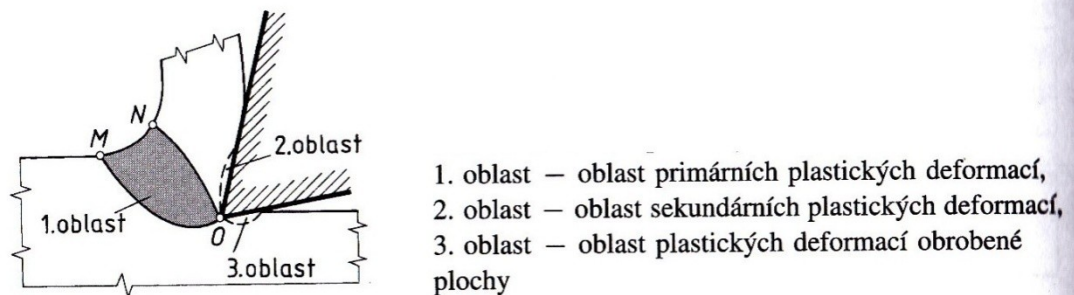


Obr. 1.2 Plochy na obrobku ⁴

Řezný nástroj je aktivní prvek obrábění. Obsahuje břit, který je jeho činnou částí. Břit má tvar klínu a je ohraničen plochou čela, po které odchází tříska a plochou hřbetu. Průsečnice těchto ploch se nazývá ostří. Ostří bývá zpravidla hlavní a vedlejší.

1.2. Řezný klín

Při vnikání břitu nástroje do obrobku je materiál odřezávané vrstvy značně namáhán a deformován. Materiál klade odpor proti vnikání řezného klínu a může také docházet ke chvění soustavy. V oblasti tvoření třísky dochází ke vzniku pružných a následně plastických deformací. Pružné deformace probíhají v celém obrobku, plastické pak jen v zóně oddělování třísky. Deformace probíhají převážně v oblasti primárních plastických deformací označené na obr. jako oblast OMN.



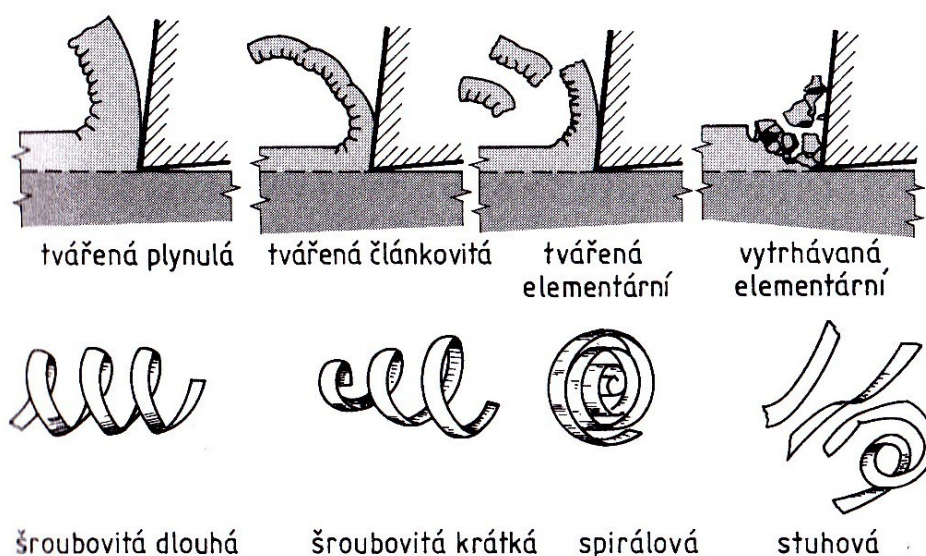
Obr. 1.3 Oblasti plastických deformací ⁴

Na deformaci má největší podíl oblast primárních plastických deformací. Velikost a tvar těchto oblastí závisí na vlastnostech obráběného materiálu, geometrii břitu, řezných podmínkách a řezném prostředí. Vlivem plastických deformací se mění také průřez třísky. Velikost průřezu odcházející třísky je vždy větší než velikost průřezu odřezávané vrstvy. A naopak délka odřezávané vrstvy (dráhy nástroje) je větší než délka třísky. To se nazývá pěchování třísky.

Plastická deformace v procesu řezání způsobuje:

- oddělování třísky od obrobku
- pěchování třísky
- opotřebení nástroje (na čele – 2. oblast a na hřbetu – 3. oblast)
- zatížení nástroje řeznými silami
- tepelné zatížení nástroje
- vznik zbytkových napětí v povrchu nástroje, př. zpevnění povrchu

Druhy třísek



Obr. 1.4 Druhy a tvary třísek ⁴

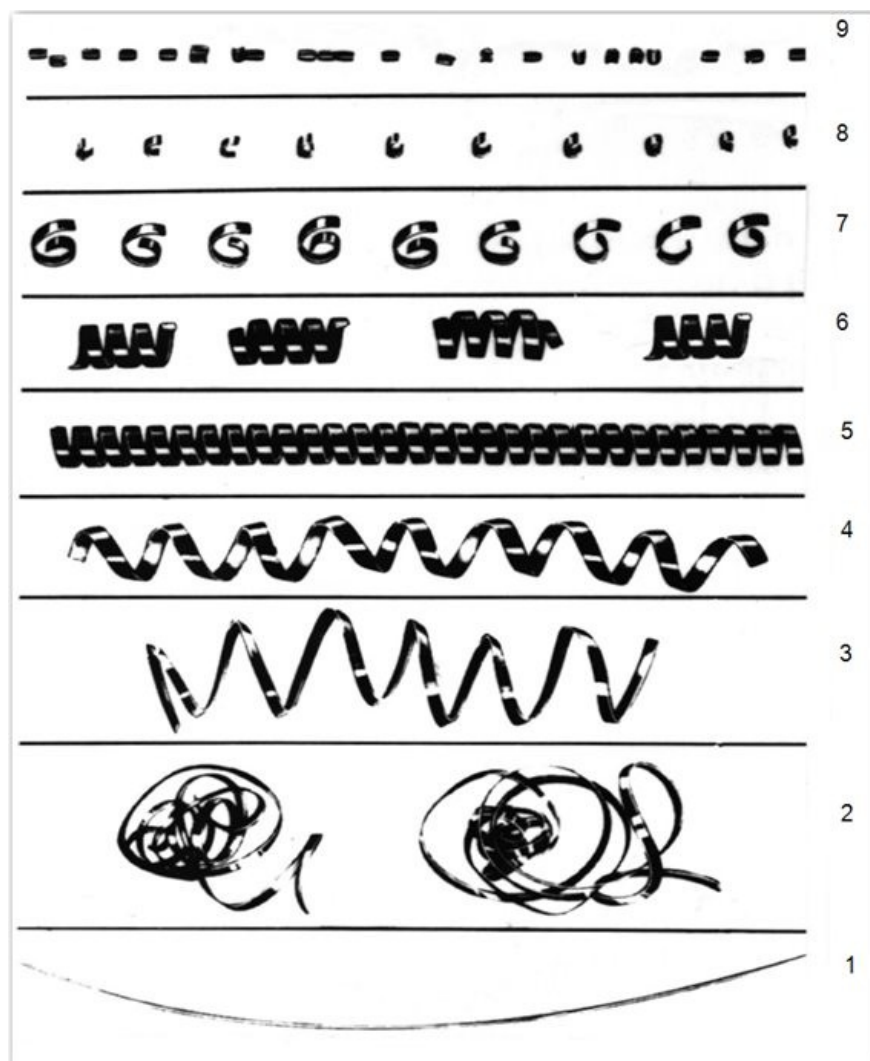
Při obrábění vznikají prakticky dva druhy třísek, tvářené (plynulá, člankovitá, elementární) a vytrhávaná.

Plynulá tříska se tvoří při obrábění tvárných materiálů. Jednotlivé elementy jsou pouhým okem těžko rozlišitelné. Je na straně čela nástroje hladká a na opačné straně drsná. Tvoří přímé pásy nebo se stáčí do šroubovic či jiných křivek až po spirály.

Člankovitá tříska vzniká při obrábění tvárných a tvrdých materiálů. Na straně čela nástroje je hladká a na vnější straně člankovitá až pilovitá. Soudržnost jednotlivých elementů třísky je menší, takže se snadno láme.

Elementárnítvářená tříska se skládá z jednotlivých, dobře od sebe rozlišitelných elementů. Na straně čela je drsná a na vnější straně si zachovává drsnost obráběné plochy.

Vytrhávaná tříska se tvoří při obrábění tvrdých a křehkých materiálů. Vzniká vytrháváním elementů nepravidelných tvarů. Bývá ve tvaru šupin, zmeček, nepravidelných úlomků apod. Tvoří povrch s velkou drsností.



Obr. 1.5 Rozdělení třísek používané v PrametTools ⁸

Na obr. 1.5. vidíme rozdělení třísek. Třísky 1 – 5 jsou netvářené a nevyhovující z důvodu velkého objemového součinitele třísky. Za vyhovující se dá považovat tříska 6 – 8. Tříska 9 je nevyhovující, z důvodu svého přetváření.

Objemový součinitel třísky K_{Vo}

Slouží k vyjádření velikosti objemu, který třísky zaujímají.

$$K_{Vo} = \frac{V_t}{V_m} > 1 \quad (1.1)$$

V_t Objem třísek při jejich hromadění

V_m Objem třísek před obráběním

Snahou je aby součinitel K_{Vo} byl co nejmenší. Pokud jsou ale nepříznivé řezné podmínky nebo nevhodná geometrie břitu, může tříska zaujímat značný prostor a součinitel může dosahovat až 400. Tím je ohrožena plynulost a kvalita práce a třísky se obtížně odstraňují z pracovního prostoru stroje.

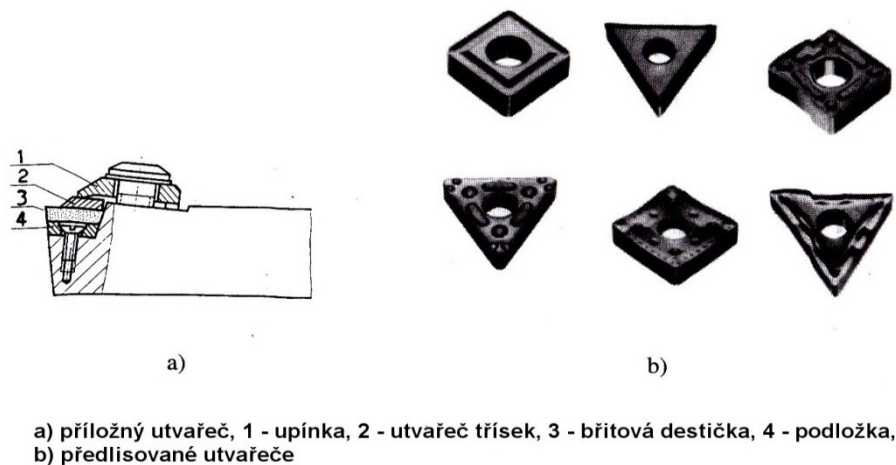
Hodnotu K_{Vo} můžeme případně zmenšit např.:

-volbou vhodného materiálu s tendencí tvořit drobivou třísku

- změna geometrie břitu

-změna řezných podmínek

-použití utvařečů třísek (příložné, vybrušované nebo předlisované v destičkách – viz obr. 1.6)



Obr. 1.6 Utvařeče třísek ⁴

Tab. 1.1 Hodnoty objemového součinitele pro vybrané tvary třísek ¹

Tvar třísky	Objemový součinitel
Dělené	3÷5
Lámané	6÷9
Spirálové	10÷15
Krátké lámané	16÷20
Krátké šroubované	40÷50
Dlouhé šroubované	80÷100
Motané	200÷300
Rovné stuhové	300÷400

1.3. Síly při soustružení

V obráběcím procesu působí obráběcí síla, kterou je nástroj vtlačován do obráběného materiálu. Tuto sílu lze rozložit do tří navzájem na sebe kolmých směrů. Je to směr posuvu F_f , směr normály k řezané ploše F_p a na předchozí dvě kolmá řezná složka F_c .

F_c je definovaná jako ve směru hlavního pohybu a vyvolává krouticí moment:

$$M_k = \frac{F_c \cdot D}{2 \cdot 10^3} \quad Nm \quad (1.2)$$

Dprůměr obrobku (mm)

Řezná složka F_c je nejdůležitější a největší složka při obrábění. Vycházíme z ní při výpočtu namáhání nástroje, pohonu stroje, upínacích přípravků a částí stroje pro upínání obrobku.

Pro výkon potřebný k řezání platí:

$$P = F_c \cdot v_c \quad W \quad (1.3)$$

v_cřezná rychlost (m.min⁻¹)

Pasivní složka F_p je složka kolmá na řeznou složku. Působí v radiálním směru vzhledem k nástroji nebo obrobku a snaží se nástroj vtlačit ze záběru s obráběným předmětem, což může vést při obrábění štíhlejších součástí k jejich průhybu a chvění. To má značný vliv na přesnost. Její velikost ovlivňuje z hlediska tuhosti konstrukci nástroje.

Posuvová složka F_f je definovaná v ose obrobku. Je kolmá na řeznou i pasivní složku. Podle této složky se dimenzují posuvové mechanismy. Brát v úvahu ji musíme i při výpočtech pevnosti nástroje, příkonu potřebného pro posuv.

Na základě výzkumů a praxe je možné jednotlivé složky stanovit pomocí vzorců:

$$F_c = c_c \cdot a_p^{x_c} \cdot f^{y_c} \quad (1.4)$$

$$F_p = c_p \cdot a_p^{x_p} \cdot f^{y_p} \quad (1.5)$$

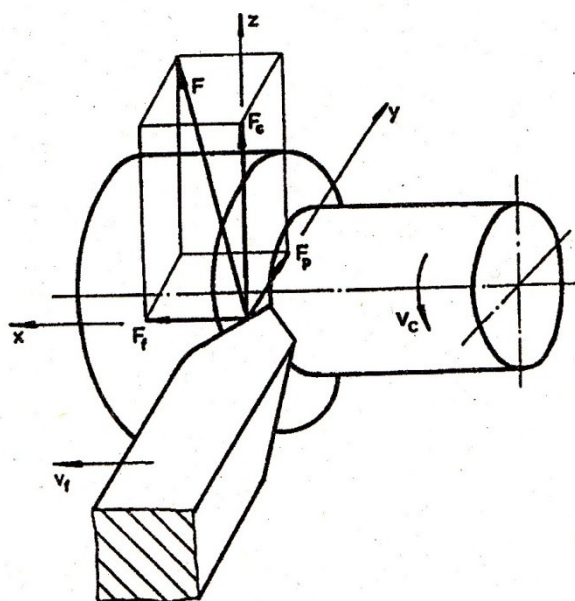
$$F_f = c_f \cdot a_p^{x_f} \cdot f^{y_f} \quad (1.6)$$

V praxi za normálních podmínek a při soustružení středně tvrdých ocelí je poměr velikostí jednotlivých složek:

$$F_c : F_p : F_f = 1 : 0,4 : 0,25 \quad (1.7)$$

Velikost výsledné síly obrábění lze přibližně stanovit:

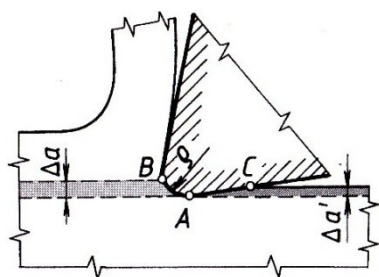
$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} = \sqrt{1,1 \div 1,18 \cdot F_c^2} \quad (1.8)$$



Obr. 1.7 Složky síly při soustružení ¹

1.4. Zpevňování obrobené plochy

Ostří nástroje není dokonalá hrana, ale zaoblená plocha o určitém poloměru. Na obr. je tato plocha vyznačena body BAC. Vrstva materiálu o tloušťce Δa je stlačována a plasticky tvářena. Po přechodu bříty materiál pomocí plastických deformací vystoupí o $\Delta a'$. Tato zpevněná vrstva se tvoří pouze u plastických materiálů. Intenzita a hloubka zpevnění je závislá nejen na poloměru zaoblení ostří, ale také na vlastnostech materiálu, řezné rychlosti, hloubce a šířce odřezávané vrstvy, zaoblení špičky a úhlu hřbetu a úhlu řezu. Dobře zpevněná vrstva soudržná se základním materiálem má kladný vliv na mechanické opotřebení a odolnost proti korozi.



Δa — stlačovaná vrstva materiálu (celková deformace),
 $\Delta a'$ — odpružení stlačovaného materiálu (pružná deformace), ρ — poloměr zaoblení ostří, BAC — styk bříty nástroje s plochou řezu

Obr. 1.8 Styková plocha BAC ⁴

2. Geometrie a mikrogeometrie VBD

2.1. Geometrie břitu obráběcího nástroje

Geometrie řezného nástroje má značný vliv na velikost sil při řezání a jejich rozložení do jednotlivých složek. Má také podstatný vliv na drsnost povrchu, trvanlivost břitu, utváření a odvod třísky a výslednou kvalitu povrchu.

Obráběcí nástroj je aktivním prvkem obráběcí soustavy. Uskutečňuje řezání tím, že jeho část vniká do obrobku a odděluje z něho materiál ve formě třísky. Nástroj se skládá z těla a břitu. Břit je klínovitá část nástroje, která vniká do obrobku. Je tvořený hřbetem a čelem.

Čelo A_γ – plocha nebo více ploch nástroje po která odchází tříska.

Hřbet – hlavní hřbet A_α je přikloněn k řezné ploše, vedlejší hřbet A'_α je přikloněn k obrobené ploše.

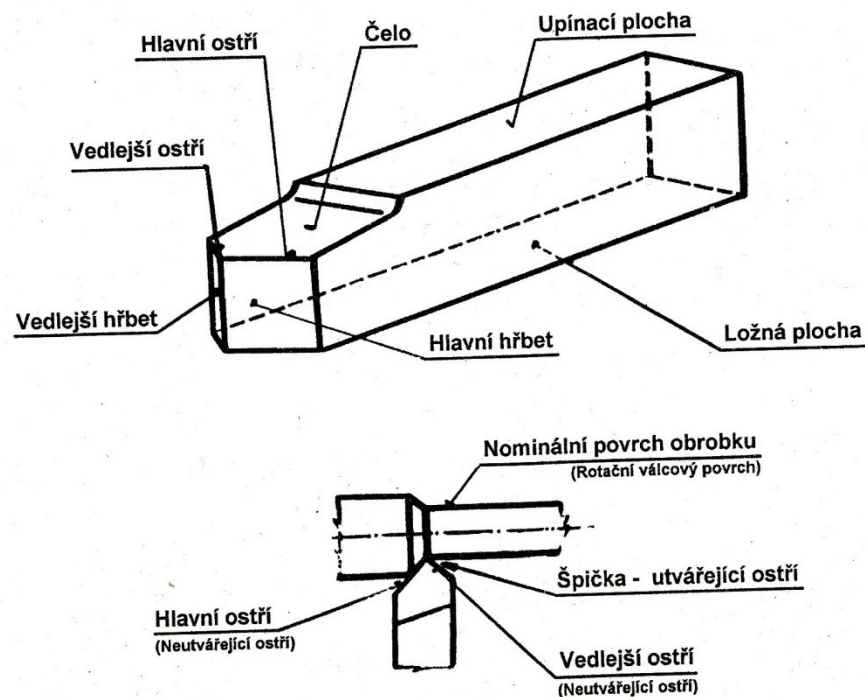
Ostří – průsečnice čela a hřbetu

Hlavní ostří S – obvykle koná hlavní řeznou práci. Začíná v bodě, kde je nulový úhel nastavení κ_r .

Vedlejší ostří S' - vznikne průnikem vedlejšího čela a hřbetu. Začíná v bodě kde je vedlejší úhel nastavení κ'_r roven nule.

Špička – část nástroje ležící na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Může být sražená nebo zaoblená.

Tělo nástroje - část nástroje, za kterou se nástroj upíná.



Obr. 2.1 Plochy řezného klínu nástroje ¹

Nástrojové roviny

Nástrojové a geometrické parametry definujeme pomocí úhlu v příslušných rovinách. Geometrii řezné části nástroje určujeme ve dvou souřadnicových soustavách.

- 1.) **Nástrojová souřadnicová soustava** – statická, používá se pro stanovení geometrie při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření
- 2.) **Pracovní souřadnicová soustava** – kinematická, používá se pro stanovení geometrie v procesu řezání. Názvy rovin a jejich značení jsou totožné jako u rovin nástrojových, jen s tím rozdílem, že se přidává index e (např. P_{re}).

Nástrojové úhly lze určovat v souřadnicovém systému tvořeném třemi hlavními rovinami:

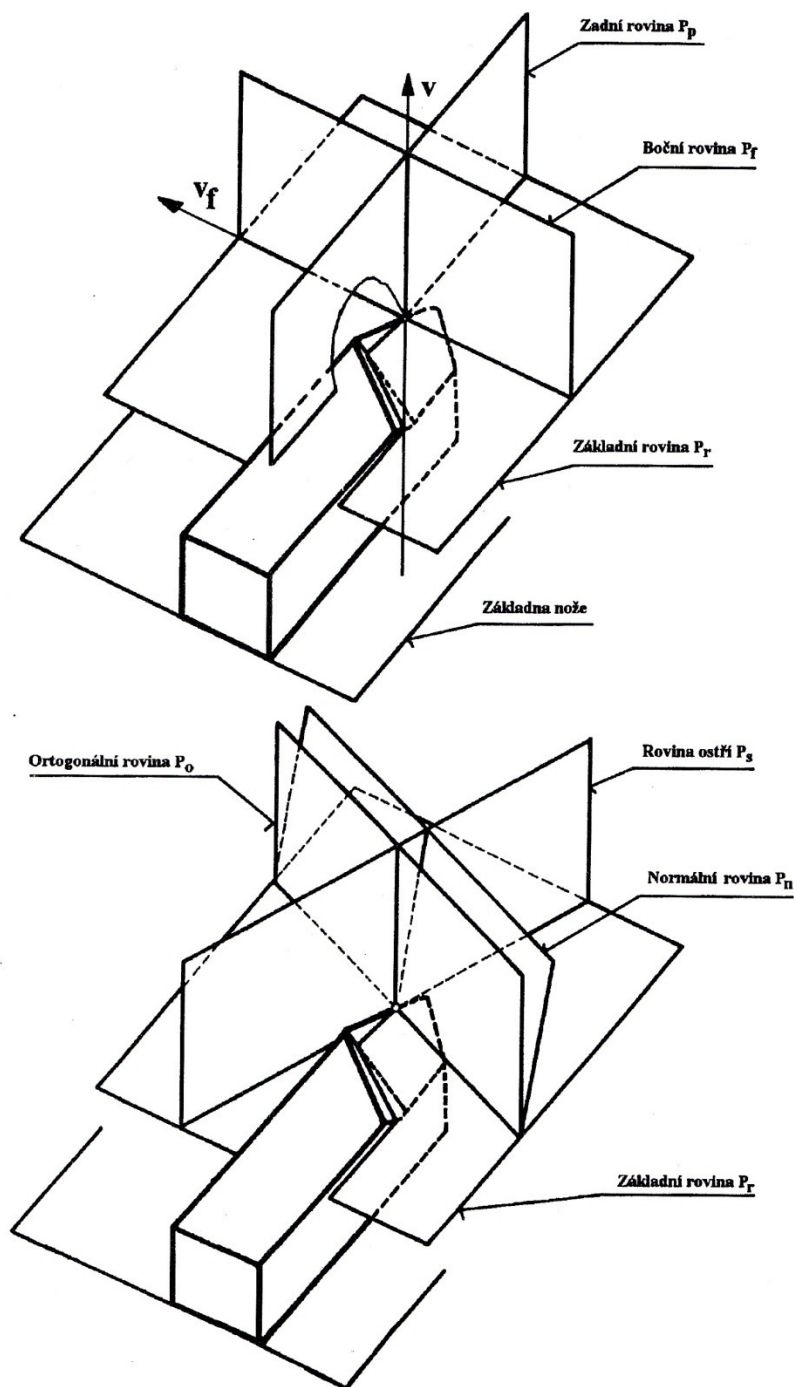
- 1.) **Nástrojová rovina základní** – P_r – rovina, která prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na vektor rychlosti hlavního řezného pohybu
- 2.) **Nástrojová rovina boční** – P_f – rovina procházející uvažovaným bodem ostří v předpokládaném směru vektoru hlavního řezného pohybu (kolmá na P_r) a posuvu v_f .
- 3.) **Nástrojová rovina zadní** – P_p – rovina procházející uvažovaným bodem ostří a kolmá na základní rovinu a boční rovinu.

Další roviny používané v nástrojové souřadnicové soustavě:

Nástrojová rovina ostří – P_s – rovina tečná k ostří, kolmá na základní rovinu

Nástrojová rovina ortogonální – P_o – rovina procházející uvažovaným bodem ostří, je kolmá na základní rovinu a na rovinu ostří.

Nástrojová rovina normálová (normální) – P_n – rovina kolmá na ostří v uvažovaném bodě ostří.



Obr. 2.2 Roviny nástrojové souřadnicové soustavy¹⁰

Pracovní roviny

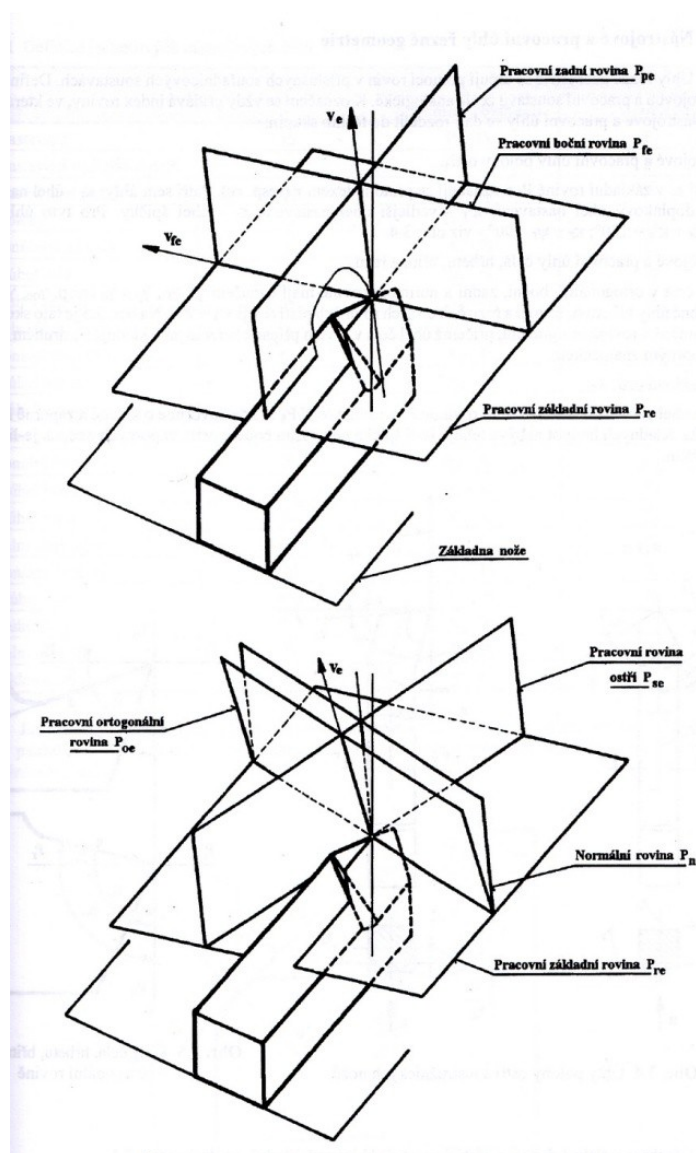
Pracovní základní rovina – P_{re} – rovina, která prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na vektor rychlosti výsledného řezného pohybu v_e . Roviny P_r a P_{re} svírají úhel η .

Pracovní boční rovina – P_{fe} – rovina procházející uvažovaným bodem ostří v předpokládaném směru vektoru hlavního řezného pohybu (kolmá na P_r) a posuvu v_f . Pokud je předpokládaný směr vektoru hlavního řezného pohybu a posuvu totožný se skutečnými směry vektoru hlavního pohybu a posuvu, je rovina P_{fe} totožná s rovinou P_f .

Pracovní zadní rovina – P_{pe} – rovina procházející uvažovaným bodem ostří a kolmá na pracovní základní rovinu a pracovní boční rovinu.

Pracovní rovina ostří – P_{se} – rovina tečná k ostří, kolmá na pracovní základní rovinu. Leží v ní vektor řezné rychlosti v_e .

Pracovní ortogonální rovina – P_{oe} – rovina procházející uvažovaným bodem ostří, je kolmá na základní pracovní rovinu a na pracovní rovinu ostří.



Obr. 2.3 Pracovní souřadnicová soustava ¹⁰

Nástrojové a pracovní úhly řezné geometrie

V příslušných souřadnicových soustavách určujeme pomocí rovin úhly řezné geometrie. K označení úhlu se vždy přidá index roviny, ve které je úhel měřen. Definice nástrojových úhlů jsou přehledně uvedeny v tab. 1.2.

Tab. 2.1 Definice nástrojových úhlů ¹⁰

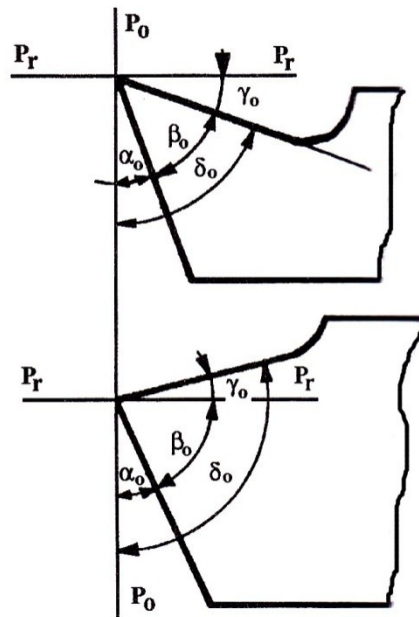
			Určení	
			Úhel mezi rovinami	V rovině
Úhly polohy ostří	Úhel nastavení	κ_r	$P_s - P_f$	P_r
	Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'_r	$P'_s - P_f$	P_r
	Doplňkový úhel nastavení	ψ_r	$P_s - P_p$	P_r
	Úhel špičky	ε_r	$P_s - P'_s$	P_r
Úhly čela	Ortogonální úhel čela	γ_o	$A_\gamma - P_r$	P_o
	Boční úhel čela	γ_f	$A_\gamma - P_r$	P_f
	Zadní úhel čela	γ_p	$A_\gamma - P_r$	P_p
	Normální úhel čela	γ_n	$A_\gamma - P_r$	P_n
Úhly hřbetu	Ortogonální úhel hřbetu	α_o	$A_\alpha - P_s$	P_o
	Boční úhel hřbetu	α_f	$A_\alpha - P_s$	P_f
	Zadní úhel hřbetu	α_p	$A_\alpha - P_s$	P_p
	Normální úhel hřbetu	α_n	$A_\alpha - P_s$	P_n
Úhly bříty	Ortogonální úhel bříty	β_o	$A_\gamma - A_\alpha$	P_o
	Boční úhel bříty	β_f	$A_\gamma - A_\alpha$	P_f
	Zadní úhel bříty	β_p	$A_\gamma - A_\alpha$	P_p
	Normální úhel bříty	β_n	$A_\gamma - A_\alpha$	P_n
Úhly řezu	Ortogonální úhel řezu	δ_o	$A_\gamma - P_s$	P_o
	Boční úhel řezu	δ_f	$A_\gamma - P_s$	P_f
	Zadní úhel řezu	δ_p	$A_\gamma - P_s$	P_p
	Normální úhel řezu	δ_n	$A_\gamma - P_s$	P_n
	Úhel sklonu ostří	λ_s	$S - P_r$	P_s

Pro úhly platí:

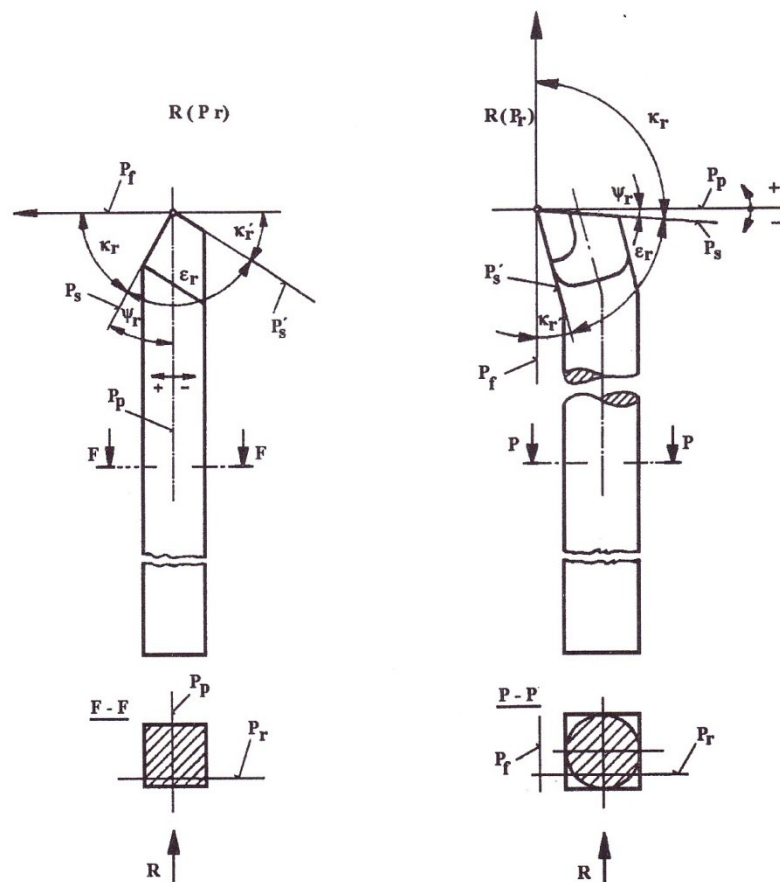
$$\kappa_r + \varepsilon_r + \kappa'_r = 180^\circ$$

$$\kappa_r + \psi_r = 90^\circ$$

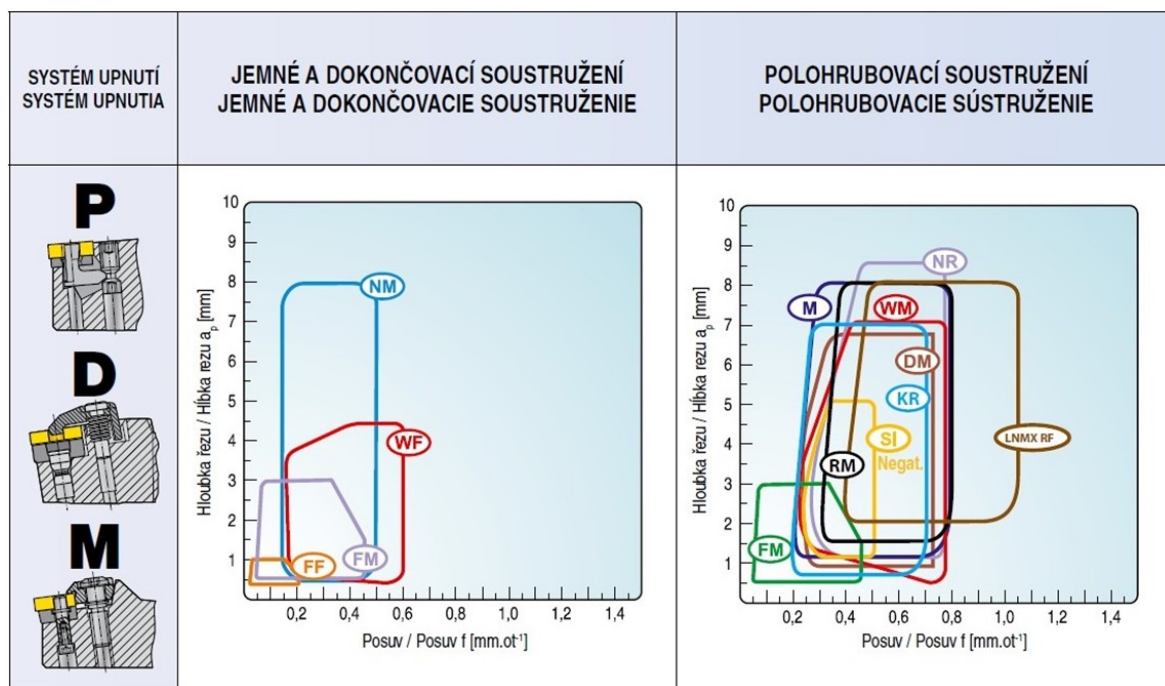
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$



Obr. 2.4 Úhly čela, hřbetu, břitu a řezu v ortogonální rovině ¹⁰



Obr. 2.5 Úhly polohy ostří soustružnických nožů ¹⁰

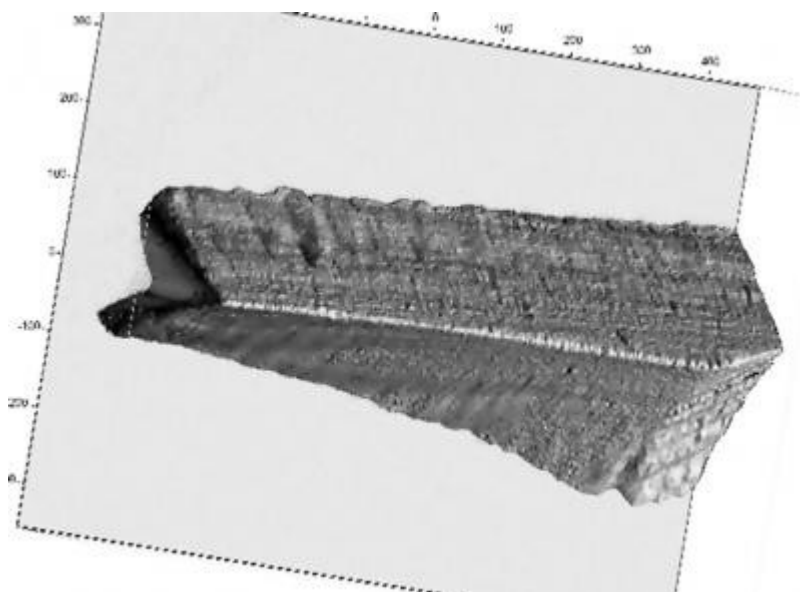


Obr. 2.6 Příklad použití řezné geometrie různých destiček v PrametTools ¹⁴

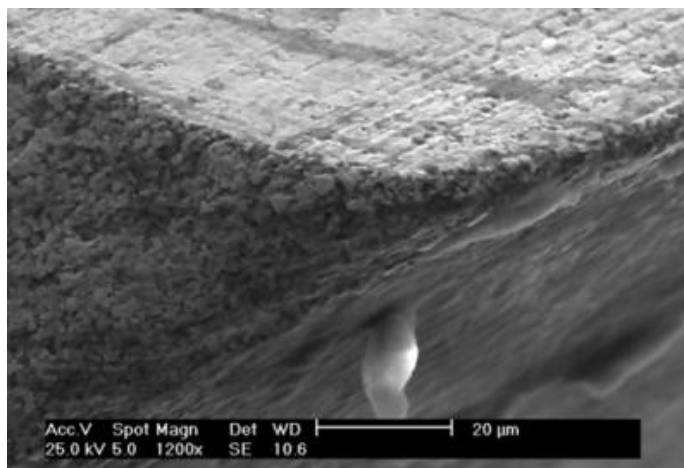
2.2. Zaoblení ostří

Řeznou geometrii nástroje můžeme rozdělit na makrogeometrii (kam můžeme zařadit např. profil nástroje, úhly a vyostření) a mikrogeometrii kterou ovlivňuje řezný materiál a nanesený otěruvzdorný povlak, který díky své tloušťce ovlivňuje poloměr zaoblení břitu.

Skutečný tvar hrany je odlišný od teoretického, požadovaného tvaru. Tyto odlišnosti jsou dány především menší přesností při výrobě. Ve výrobě je vytvořeno zaoblení v řádu desítek mikrometrů, které se dále upravuje na požadované zaoblení.



Obr. 2.7 Vizualizace řezné hrany ¹²

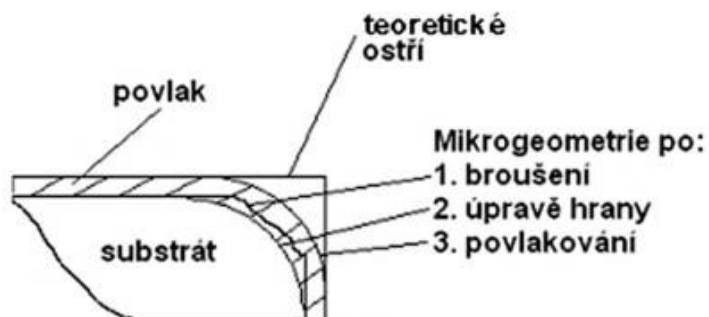


Obr. 2.8 Magneticky zaoblená hrana ¹²

Dokonalá příprava nástroje před samotným procesem povlakováním je velice důležitá a nesmí být opomenuta. Ostří u nových a renovovaných nástrojů je totiž nehomogenní a plné defektů. Tyto chyby vedou k porušení tenkých vrstev a ke snížení užitných vlastností nástroje a jeho trvanlivosti. Velmi ostrá hrana není také výhodná, jelikož při prvním kontaktu nástroje s obrobkem dojde k samovolnému odstranění řezné hrany při „zajíždění“ nástroje a k vytvoření přirozeného zaoblení. Tím dojde k odstranění povlaku řezné hrany a vysokému snížení trvanlivosti nástroje.

Úpravu ostří můžeme realizovat např. kartáčováním, pískováním, omíláním, lapováním, magnetickým leštěním nebo broušením. Podstatou všech těchto metod je působení abrazivních částic na břit nástroje. Délka působení a rychlost abraziva má potom vliv na velikost zaoblení. Takto zaoblené ostří je poté mnohem méně pórovité s menším množstvím mikrovýstupků.

Změnou tvaru, jakosti povrchu a vhodným povlakováním snížíme vliv defektů na povrchu nástroje a tím výrazně ovlivníme trvanlivost nástroje při obrábění. V procesu výroby musíme zohlednit to, že nanesením povlaku, obzvláště velkých tlouštěk, změníme poloměr zaoblení ostří. Volbou většího zaoblení zvýšíme pevnost řezné hrany, ale zároveň roste řezný odpor a narůstají další negativní vlivy, např. síla a teplota.



Obr. 2.9 Schéma břitu nástroje ¹²

2.3. Slinuté karbidy

Základní vlastností SK je jejich vysoká tvrdost 88 až 93 HRA a velká odolnost proti opotřebení při vyšších teplotách 700 – 1000 °C. Mezi jejich další základní fyzikálně-mechanické vlastnosti patří vysoká pevnost v tlaku, odolnost proti korozi, malý součinitel tepelné roztažnosti, vysoká měrná hmotnost, špatná tepelná a elektrická vodivost.

Jejich vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení umožňuje obrábět materiály, které nebylo možné předchozími nástrojovými materiály obrábět. Především se jedná o kalenou ocel, bílou litinu sklo a další velmi tvrdé materiály. Velkou výhodou SK je umožnění 5 až 8 násobného zvýšení řezných rychlostí s porovnání s rychlostmi používanými u RO. Tvoří tak základ pro rychlostní obrábění kovů. Nedostatkem je jejich velká křehkost a malá ohybová pevnost.

Tab 2.2 Skupiny materiálů SK dle ISO ¹⁴

Označení ISO		Obráběný materiál	Složení	Použití
Skupina	Druh			
P	P 01	Uhlíkové (nelegované) oceli	WC + TiC + Co	Určena pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku. Přísada TiC zaručuje vysokou odolnost proti difuzi za vysokých teplot. Řezný proces je doprovázen velkými řeznými silami a dochází ke značným opotřebením na čele nástroje (výmoly).
	P 10	třídy 10, 11, 12. Legované		
	P 20	oceli tříd 13, 14, 15, 16.		
	P 30	Nástrojové oceli uhlíkové,		
	P 40	nástrojové legované oceli,		
	P 50	uhlíková ocelolitina skupiny 26, nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli		
M	M10	austenitické a feriticko	WC + TiC + TaC. NbC + Co	Univerzální použití. Pro materiály tvořící dlouhou až střední třísku. Vysoká houževnatost těchto materiálů se využívá především pro hrubovací práce a přerušované řezy. Síly při řezání jsou střední až vysoké, dochází k vydrolování ostří.
	M 20	austenitické oceli,		
	M 30	korozivzdorné, žáruvzdorné		
	M40	a žárupevné oceli, nemagnetické a otěruvzdorné		

K	K 01 K 10 K 20 K 30 K 40 K 50	Šedá litina nelegovaná i legovaná, tvrná litina, temperovaná litina	WC + Co	Vhodné pro materiály tvořící krátkou drobnou třísku. Síly řezání jsou relativně nízké. Vyskytuje se adhezní a abrazivní opotřebení.
N	N 01 N 05 N 10 N 25	Neželezné kovy, slitiny Al a Cu, plasty, kompozity a dřeva		N01 a N05 vhodné spíše pro dokončovací operace na nekovových a neželezných slitinách, N10 vhodná pro střední až těžké soustružení a N25 pro hrubovací operace.
S	S 05 S 10 S 25 S 30	speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti		Použití při dokončovacím obrábění za tepelně nepříznivých prac. podmínek, obrábění nízkými rychlostmi při přerušovaných i nepřerušovaných řezech.
H	H 01 H 05 H 10 H 15 H25	zušlechťené oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48 ÷ 60, tvrzené kokilové litiny HSh 55 ÷ 85		Vhodné pro přerušované i nepřerušované řezy, i při nepříznivých prac. podmínkách a nízkých řezných rychlostech.

2.4. Opotřebení VBD

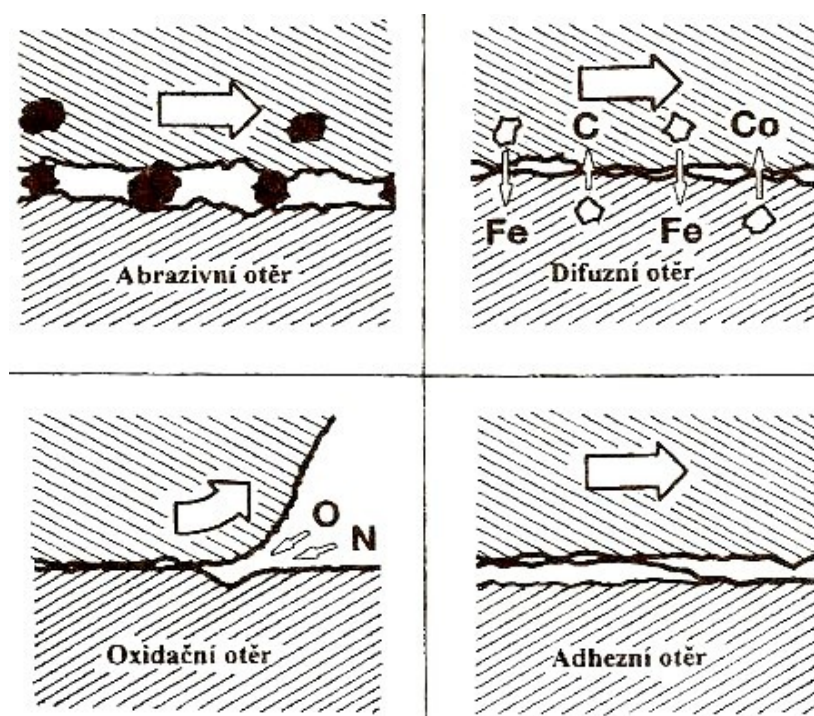
Opotřebení je důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném pohybu. Při obrábění dochází k pohybu nástroj-obrobek a nástroj-tříska. V důsledku toho vzniká na ploše čela a hřbetu velké tepelné zatížení, které značně namáhá materiál bříty nástroje. Většina obráběných materiálů obsahuje různé druhy tvrdých částic, které se svými vlastnostmi neliší od materiálu nástroje. Tyto částice vyvolávají brousící či abrazivní efekt. Je možné identifikovat základní mechanismy opotřebení – abrazivní, difuzní, oxidační a adhezní.

Abrazivní otěr – Velmi rozšířené. Vzniká působením tvrdých částic v materiálu obrobku, kdy se dostávají tvrdé částice mezi povrch obrobku a nástroje. Abrazivnímu opotřebení bude odolávat materiál s hustou strukturou tvrdých částic. Toto opotřebení je výrazné především při nízkých řezných rychlostech a významný je především při obrábění nástroji z nástrojových a rychlořezných ocelí.

Difuzní otěr– Vzniká působením chemických vlivů v procesu. Rozhodujícím faktorem jsou chemické vlastnosti řezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku. Tvrdost materiálu má jen relativně malý podíl. Příkladem takového opotřebení je vytvoření žlábků na čele VBD. Jelikož toto opotřebení souvisí s teplotou, dochází k němu při vysokých řezných rychlostech.

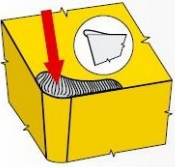

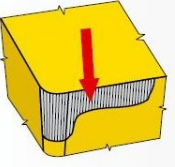

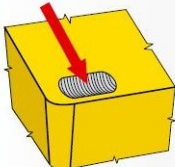
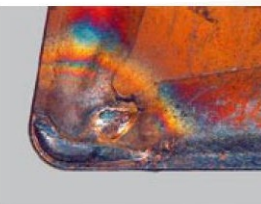
Oxidační otěr – Souvisí s vysokými teplotami, které spolu s okolním vzduchem tvoří např. žlábků. Oxidy mohou působit velmi rozdílně. Např. wolfram a kobalt tvoří porézní film oxidu, který je snadno odnášen třískou. Jiné oxidy, např. oxid hlinitý, jsou pevnější a tvrdší. Vzniká nejčastěji v oblasti kontaktu bříty, kde končí šířka třísky a kde má přístup vzduch do řezného procesu.

Adhezní otěr – Vyskytuje se hlavně při nízkých teplotách, obzvláště na čele bříty, u ocelí tvořících dlouhou i krátkou třísku. Způsobuje vytrhávání částic bříty. Vzniká obzvláště při obrábění nástrojovými a rychlořeznými oceli, které často vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břítem. Jedná se o dynamický průběh, kdy se mohou navařovat další vrstvy třísky a břit nástroje. Může tak tvořit základ pro další nárůstky nebo poškodit původní břit vydrolováním nebo vylomením.

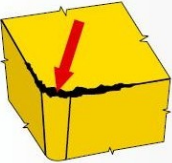

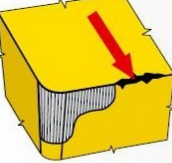

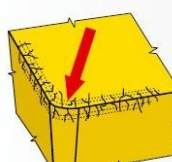



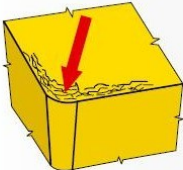

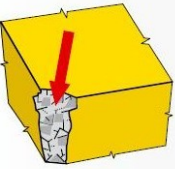
Obr. 2.10 Schéma základních mechanismů opotřebení bříty nástroje ⁸

Tab. 2.3 Druhy opotřebení při soustružení ¹⁴

Tvorba nárůstku	
 	<p>Jedná se o nalepování obráběného materiálu především na čelo nástroje. Nárůstek má charakter návaru na břitu. V případě odtržení může dojít ke křehkému porušení břitu nástroje, které je dále charakterizován snížením jakosti obráběného povrchu.</p> <p>Tvorbě nárůstku lze zabránit zvýšením řezné rychlosti nebo posuvu, použitím povlakovaných typů slinutých karbidů, použitím jiné řezné geometrie, použitím chladicí emulze s vyšším protinárůstkovým účinkem (pokud není k dispozici, upustit od chlazení)</p>
Opotřebení hřbetu	
 	<p>Tento typ opotřebení je jedním z hlavních kritérií, které charakterizují trvanlivost VBD. Vzniká stykem nástroje a obráběného materiálu v průběhu řezného procesu. Intenzitu takového opotřebení lze pouze snížit. Bránit se můžeme použitím otěruvzdornějšího typu slinutého karbidu, snížením řezné rychlosti, zvýšením posuvu (v případě, že posuv je menší než 0,1 mm.ot.) nebo použitím chladicí emulze</p>
Výmol na čele	
 	<p>Výmol na čele je typ opotřebení, které se nejvýrazněji projevuje u VBD s rovným čelem. Jeho výskyt není však omezen pouze na tento typ destiček. Při obrábění měkkých materiálů vzniká výmol širší a mělčí, u tvrdých materiálů naopak výmol úzký a hluboký.</p> <p>Výmolu můžeme zabránit použitím otěruvzdornějších typů slinutého karbidu nebo použitím povlakovaných typů, zejména (MT) CVD. Dále snížením řezné rychlosti, použitím jiné (pozitivnějšího) typu řezné geometrie VBD nebo chladicí emulzí.</p>

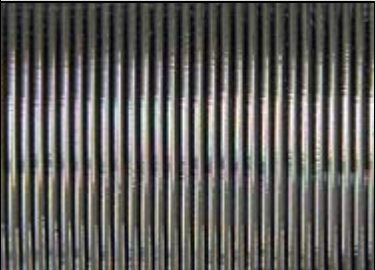
Oxidační rýha na vedlejším hřbetu	
 	<p>Oxidační rýha na vedlejším břítu je jedním z nejvýznamnějších kritérií, které limitují životnost VBD. Vyskytuje se zejména u soustružení. V případě propojení oxidační rýhy s výmolem na čele se tento defekt jednoznačně projeví na zvýšení drsnosti povrchu obrobku. Dojde k jevu, který je slangově nazýván jako “chlupacení”.</p> <p>Zabránit můžeme povlakovaným resp. otěruvzdornějším typem slinutého karbidu, dovoluji-li to podmínky, použít VBD s povlakem obsahující Al_2O_3. Použít chladicí emulze případně snížit řeznou rychlost.</p>
Plastická deformace špičky	
 	<p>Důvodem tohoto typu opotřebení je přetížení břítu v důsledku vysokých řezných teplot - tedy vysokých rychlosti a posuvů.</p> <p>Zabráníme použitím otěruvzdornějších typů slinutého karbidu, snížením řezné rychlosti či posuvu, použitím chladicí emulze nebo použitím VBD s větším poloměrem zaoblení špičky nebo s větším úhlem špičky.</p>
Vrubové opotřebení na hlavním břítu	
 	<p>Vrubové opotřebení na hlavním břítu vzniká v oblasti styku břítu nástroje s povrchem obrobku. Důvodem vzniku je převážně zpevnění povrchových vrstev obrobku a otřepy. Vyskytuje se zejména u nerezavějících austenitických ocelí.</p> <p>Tvorbě vrubu můžeme zabránit použitím povlakovaných resp. otěruvzdornějších typů slinutého karbidu, případně nástrojem s menším úhlem nastavení nebo nerovnoměrným rozdělením třísky.</p>

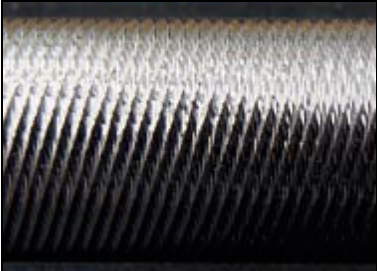



Křehké porušování řezné hrany	
 	<p>Křehké porušování řezné hrany neboli mikrovyštipování se ve většině případů vyskytuje v kombinaci s dalším typem opotřebení. Samostatně je obtížně identifikovatelné. Příčinou bývá zejména nízká tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek nebo „tvrdé utváření“.</p> <p>Lze zabránit použitím houževnatějšího typu slinutého karbidu, méně intenzivními řeznými podmínkami, použitím VBD s jinou řeznou geometrií nebo při najíždění do záběru zmenšit posuv.</p>
Porušování řezné hrany (mimo záběr)	
 	<p>Příčinou je nevhodné utváření třísky, která při svém odchodu naráží na břit, který mechanicky poškozuje.</p> <p>Zabráníme změnou posuvu, zvolením nástroje s jinou geometrií či použitím jiného utvařeče případně použitím houževnatějšího typu slinutého karbidu.</p>
Hřebenové trhliny	
 	<p>Hřebenovité trhliny jsou důsledkem dynamického tepelného zatížení při přerušovaném řezu.</p> <p>Musíme upustit od chlazení kapalinou (možno použít vzduch z důvodů odstranění třísek z místa řezu) či zvolit houževnatější materiál VBD nebo snížit řeznou rychlost.</p>

Únavové trhliny podél hřbetu	
 	<p>Únavové trhliny vznikají v důsledku dynamického zatížení oblasti těsně za břitem.</p> <p>Vzniku trhlín zabráníme použitím houževnatějšího typu slinutého karbidu, změnou způsobu najíždění a vyjíždění nástroje či záběrových podmínek. Použitím jiného typu řezné geometrie resp. VBD s jinou úpravou řezné hrany nebo změnou posuvu také zabráníme vzniku.</p>
Destrukce břitu resp. špičky nástroje	
 	<p>Příčiny destrukce břitu resp. špičky nástroje mohou být různé a jsou závislé na materiálu nástroje i obrobku, stavu a zejména tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek, vliv má i velikost a typ opotřebení a záběrové podmínky.</p> <p>Destrukci zabráníme použitím houževnatějšího typu slinutého karbidu, volbou méně intenzivních řezných podmínek (snížení posuvu a hloubky), použitím VBD s větším poloměrem zaoblení špičky nebo větším úhlem špičky, případně použijeme jiný utvařeč, stabilizaci řezné hrany (břitu) a při najíždění do záběru zmenšit posuv.</p>

2.5. Nežádoucí jevy

Tab. 2.4 Nežádoucí jevy ¹⁴

Vysoká drsnost obrobeného povrchu	
	<p>U finálních operací, kde je kladen požadavek na drsnost povrchu, která je samozřejmě ovlivněna mnoha faktory, např.: materiál obrobku, řezné prostředí, provedení a stav břitu nástroje, řezné podmínky (zejm. posuv a řezná rychlost) a stabilita soustavy stroj-nástroj-obrobek. Jedná se především o špatnou volbu nástroje, tloušťka třísky, vysoký posuv a zvolenou řeznou rychlost. Obrábění materiálu vyžaduje použití řezné kapaliny.</p> <p>Opatřením proti vysoké drsnosti je použít hladicí VBD, snížení posuv, úpravou (většinou zvýšit) řezné rychlosti, použitím chlazení či mazání, eliminací chvění, změnou tloušťky třísky.</p>

Pochvělý povrch	
	<p>Je velice častým jevem. Mezi hlavní příčiny patří nevyváženost obrobku nebo nástroje, nestabilní upnutí obráběné součásti a vysoké řezné síly. Dalšími příčinami může být nízká tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek, příliš vysoká hloubka třísky, špatná vyváženost obrobku a vysoké vyložení nástroje.</p> <p>Této vadě zabráníme přezkoušením stability upnutí obrobku a nástroje, zmenšením hloubky řezu, použitím nástroje s menším vyložení, úpravou řezné rychlosti, zmenšením tloušťky třísky, vhodnou volbou řezné geometrie a materiálu nástroje minimalizovat silovou bilanci řezného procesu, tedy použít nástroj s nižším řezným odporem, použít nástroj s úhlem nastavení blízkým 90°</p>
Tvorba otřepu	
	<p>Otřep vzniká zejména při obrábění měkkých ocelí a plastických materiálů. Tento jev je velmi častý, nelze mu vždy zabránit.</p> <p>Riziko vzniku snížíme použitím VBD s ostrým břitem či s pozitivní geometrií nebo použitím nástroje s menším úhlem nastavení.</p>
Rozměrová a tvarová nepřesnost obrobku	
	<p>Je ovlivněna velkým množstvím faktorů resp. vlastnostmi soustavy stroj-nástroj-obrobek.</p> <p>Rozměrové a tvarové nepřesnosti zabráníme volbou VBD s dostatečnou odolností proti opotřebení, přezkoušením stability upnutí obrobku, přezkoušením stability upnutí nástroje (snížit vyložení, příp. zajistit vyvážení), vhodnou volbou velikost přídavku na obrábění</p>
Nevhodný tvar třísky	
	<p>Vhodný tvar třísky je v současnosti stejně důležitým kritériem jako trvanlivost. Na vhodné utváření má vliv zejména materiál obrobku, posuv, hloubka řezu a vhodná volba řezné geometrie (utvařeče).</p> <p>Dlouhá tříska je z mnoha důvodů neakceptovatelná, ale i příliš krátká "drcená" tříska je nežádoucí a svědčí o přetížení břitu a vede ke vzniku vibrací.</p> <p>Vzniku nevhodného tvaru třísky zabráníme změnou posuvu a hloubky řezu nebo volbou vhodnější geometrie.</p>

3. Možnosti ovlivňování trvanlivosti VBD

3.1. Vliv řezných podmínek na teplotu

Pro určení teploty řezání má velký vliv průměrný teplota povrchů nástroje a obrobku. Na velikost teploty má také nezanedbatelný vliv materiál obrobku a řezné podmínky.

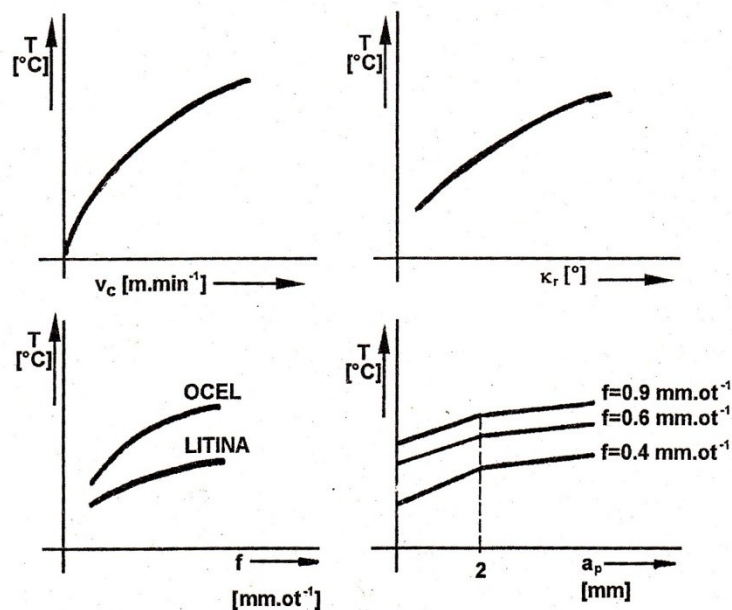
Zvýšení řezné rychlosti – klesá měrný odpor a tím i deformační teplo a teplota materiálu v oblasti prvotních deformací. V souvislosti s větší rychlostí pohybu třísky na čele nástroje, dochází zde ke zvětšení práce tření. Z toho vyplývá, že se zvyšováním řezné rychlosti, teplota řezání stoupá. Zprvu stoupá rychleji a při vyšších řezných rychlostech stoupá pomaleji. Po dosažení určité řezné rychlosti se dosáhne maximální teploty řezání a teplota se dále při zvyšování řezné rychlosti již prakticky nemění. Teplota obrobku však při zvětšování řezné rychlosti klesá, což se dá vysvětlit tím, že se čas styku obrobku s nástrojem při vyšších rychlostech zmenšuje. Vysoké řezné rychlosti velmi nepříznivě působí na bříty nástrojů.

Zvětšení posuvu a hloubky řezu – Vliv není až tak výrazný jako při zvyšování řezné rychlosti, teplota však rovněž stoupá. Z toho vyplývá, že rychlost pohybu třísky se mění se zvyšováním posuvů méně, než při zvyšování řezné rychlosti. Hloubka řezu má ještě menší vliv než posuv, protože se zvětšuje délka řezné hrany v záběru a tím i odvod tepla.

Vliv úhlu nastavení – Souvisí s vlivem šířky a tloušťky třísky. Při zvětšování úhlu nastavení se teplo soustřeďuje na kratší úsek bříty a tím teploty rostou.

Vliv úhlu čela – Se zmenšováním úhlu čela teplota řezání stoupá a současně vzrůstá i velikost plastické deformace odřezávané vrstvy a tím vzniká větší množství tepla. Zároveň se ale zvětšuje průřez bříty, čímž se teplo odvádí z místa styku obrobku a nástroje.

Vliv úhlu hřbetu – Při zmenšování úhlu hřbetu nebo jeho opotřebení roste práce tření na hřbetě což má za následek zvyšování teploty řezání. Při příliš velkém úhlu hřbetu se zhorší podmínky odvádění tepla nástrojem, což má za následek zvýšení teploty.



Obr. 3.1 Vliv vybraných parametrů na teplotu řezání ¹

3.2. Vliv řezných podmínek na trvanlivost

Řezná rychlost – trvanlivost bříty je na změnu rychlosti velice citlivá. Slinuté karbidy mají oproti RO výhodu nižší citlivosti na změnu řezné rychlosti. Při zvyšování řezné rychlosti trvanlivost bříty prudce klesá.

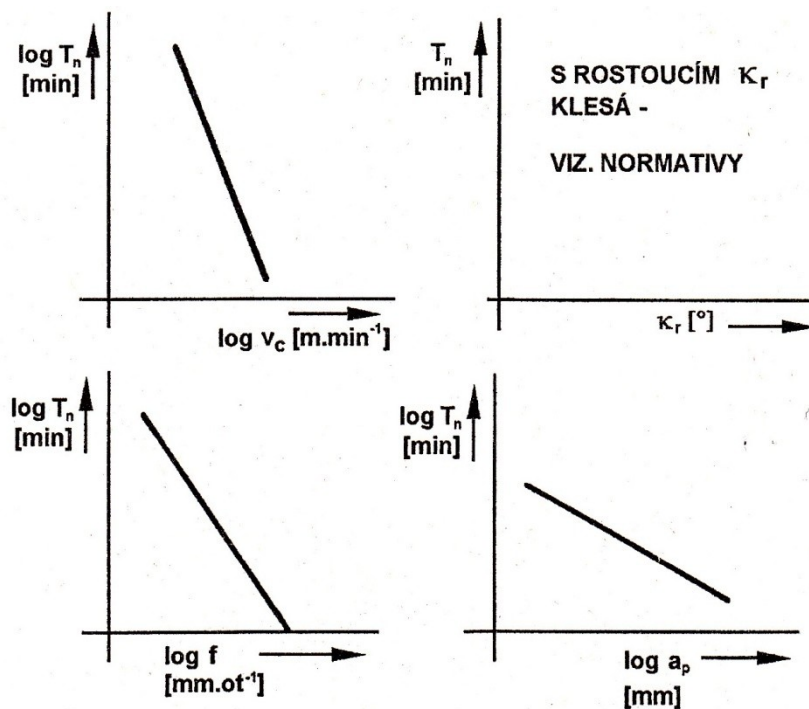
Posuv – hned za řeznou rychlostí má velký vliv. Při zvyšování posuvu trvanlivost bříty prudce klesá

Hloubka řezu–vliv není tak výrazný jak u předešlých, ale se zvyšující se hloubkou trvanlivost rovněž klesá.

Úhel čela – při zmenšování úhlu čela trvanlivost roste až do hodnoty 15° kdy dosahuje maxima, potom trvanlivost klesá.

Úhel nastavení – při zmenšování úhlu nastavení hlavního ostří se trvanlivost zmenšuje, ale zároveň se zvyšuje řezný odpor a sklon ke chvění. Dle experimentálního zjištění se optimální hodnota úhlu nastavení $\kappa_r = 45^\circ \div 60^\circ$.

Velikost zaoblení řezné hrany– 25-75 μm v závislosti na velikosti VBD, úhlu čela a hřbetu



Obr. 3.2 Vliv vybraných parametrů na trvanlivost břítu ¹

3.3. Soustružení nerezových ocelí

Základní pravidla pro soustružení na nerezových ocelích:

- Volíme silné velké destičky (pro maximální odvod tepla) s ostrou geometrií – lehce řezající geometrie, velký úhel čela, ostrý zesílený břit a velký rádius špičky
- Používáme VBD s pozitivním úhlem čela z důvodu nízkých řezných sil
- Důležité je omezení vzniku tepla (správné chlazení (např. HPDC), silné třísky s dostatečným objemem pro maximální odvod tepla). Zároveň se snažíme co nejvíce omezit styk třísky s čelem destičky.
- Používáme velké hloubky řezu a posuvy
- Pro hrubování používáme houževnaté karbidové třídy (utváření, nárůstek, trhliny břítu) a pro dokončování tvrdé karbidové třídy (plastická def., otěr, pošk. sekundární řezné hrany)
- Pokud obrábíme malou hloubkou řezu, musíme používat vyšší řeznou rychlost (dodržení správné teploty řezu)
- Řez vedeme až pod tvrdou povrchovou vrstvou
- Volíme maximální možnou velikost nástroje, co nejpevnější upínací systém a minimalizujeme délku vyložení
- V postupu obrábění používáme pro hrubování proměnlivé hloubky řezu s úhlem nastavení 75° nebo 45. Dokončujeme s úhlem nastavení 90°.

4. Diskuse experimentálních prací

Základním požadavkem zkoušky bylo zjištění destičky s nejmenším opotřebením. Podle obráběného materiálu a zkušeností obsluhy byly nastaveny hodnoty řezné rychlosti. Tyto nastavené řezné podmínky zůstávaly stejné pro všechny porovnávané destičky. Pro zkoušku byl použit levý nůž PCLNR/L 2525 M12-95°. Při zkoušce byla použita chladicí kapalina. Zkoušky se prováděly na válcích z austenitické korozivzdorné oceli ČSN 17 349.4(X2CrNiMo17-12-2).

Korozivzdorné oceli nejsou příliš vhodný materiál pro zkoušku trvanlivosti VBD, testované destičky jsou však určeny právě pro korozivzdorný materiál, proto zkouška probíhala na tomto materiálu.

Ocel ČSN 17 349.4 (X2CrNiMo17-12-2)

„Ocel velmi dobře odolává: atmosférické korozi i v průmyslovém ovzduší, odpadním vodám i za přítomnosti halogenů. Ocel X2CrNiMo18-14-3 odolává i působení mořské vody. V přiměřených koncentracích odolává minerálním a organickým kyselinám. Bližší údaje odolnosti i v dalších korozních prostředích, poskytují korozní tabulky. Ve stavu po rozpouštěcím žhání i v případě byla-li vystavena kritickým teplotám v intervalu 500 až 900°C, odolává mezikrystalové korozi.“²

Tvrdost: 185 HB

Skupina materiálů: M

Tab. 4.1 Chemické složení tavby X2CrNiMo17-12-2²

Chemické složení tavby v % hmot. podle EN 10088, DIN 17455 a 17456								
X2CrNiMo17-12-2								
C	Si	Mn	P max	S	N	Cr	Mo	Ni)
<=0.030	<=1.00	<= 2.00	0.045	<=0.030	<= 0.11	16,50- 18,50	2.00- 2.50	10,00- 13,00

4.1. Testované vzorky VBD

Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408E-FM je zhotovena z nového testovaného materiálu T7335. Do výroby bylo zadáno celkem 10 destiček se zaoblením řezné hrany 30μm, 10 destičekse zaoblením hrany 40μm a 10 destičekse zaoblením hrany 50μm. Jelikož není možné vyrobit přesně požadované zaoblení hrany, byly vybrány od každé velikosti zaoblení 3 destičky se zaoblením nejvíce se přibližujícím požadovanému zaoblení.

CNMG

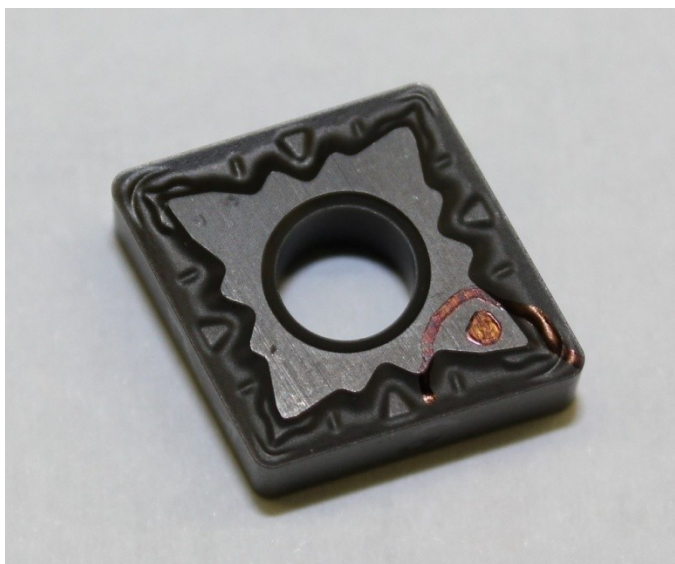
Velikost	(l)	d	d ₁	s	
0903	9,7	9,525	3,81	3,18	
1204	12,9	12,7	5,16	4,76	
1606	16,1	15,875	6,35	6,35	
1906	19,3	19,05	7,94	6,35	
2509	25,8	25,4	9,12	9,52	

Utvařec Utvarač	ISO	ANSI	Materiály / Materiály										Rádus Rádus	Posuv na ot. Posuv na ot.		Hloubka řezu Hĺbka rezu	
			6605	6615	6630	6640	9210	9230	9235	3025	8016	8030	r _ε	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
	CNMG 120408E-FM	CNMG 432E-FM					●	●		●			0,8	0,15	0,45	0,8	3,0

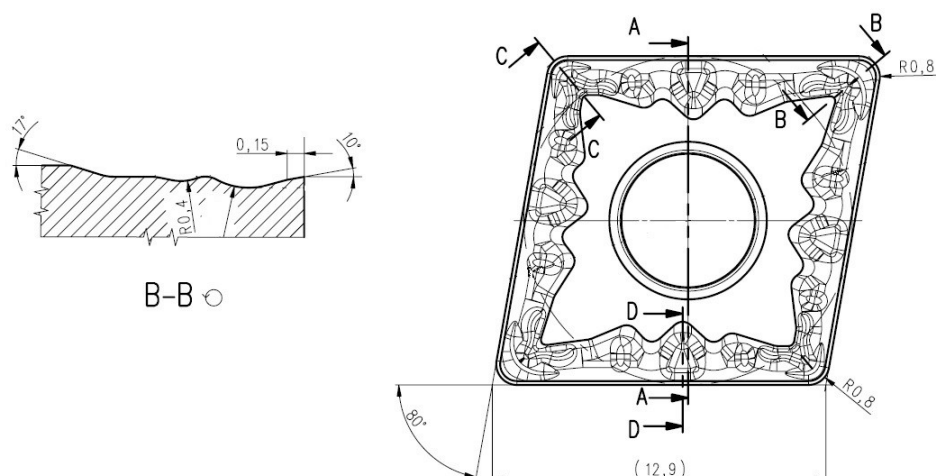
Obr. 4.1 Destička CNMG ¹⁴

Dle rozdělení podle ISO je destička CNMG 120408E-FM:

- čtvercový tvar destičky s úhlem špičky 80°
- úhel hřbetu 0°
- tolerance přesnosti tloušťky ± 0,130 mm
- provedení s dírou a bříty po obou stranách
- délka řezné hrany 12,7 mm
- tloušťka 4,76 mm
- rádus špičky 0,8mm
- provedení se zaoblenou řeznou hranou bez fazetky
- utvařec typu FM



Obr. 4.2 Reálné foto testované destičky



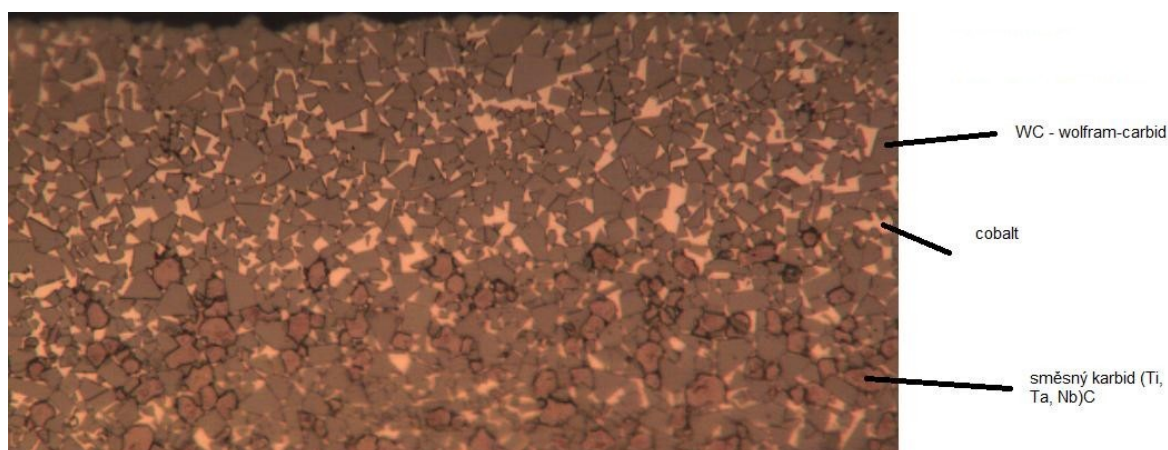
Obr. 4.3 Část výkresu testované destičky

Pro upevnění VBD byl použit nástroj PCLNR/L 2525 M12 - 95°:

- pákový způsob upínání za otvor
- čtvercový tvar destičky s úhlem špičky 80°
- úhel nastavení 95°
- úhel hřbetu 0°
- levostranné provedení
- výška držáku 25 mm
- šířka držáku 25 mm
- celková délka 150 mm
- velikost destičky (délka řezné hrany) 12,7 mm

Materiál destičky

Experimentální materiál T 7335- jedná se o kombinaci substrátu a povlaku. Substrát – prášek, ze kterého se destička vylisuje a sline. Jedná se o funkčně-gradientní substrát, jehož povrchová vrstva je obohacena kobaltovým pojivem, tvořící systém WC+Co. Tato kombinace způsobuje, že je povrchová vrstva houževnatější než středová struktura. Tato vrstva se vyznačuje vysokou tuhostí, odolností vůči plastické deformaci a tvrdostí materiálu a zároveň mimořádnou odolností ke vzniku šíření trhlin iniciovaných v povlaku. Oproti „standardnímu“ slinutému karbidu je zde potřeba menšího podílu pojící fáze k dosažení stejné houževnatosti.

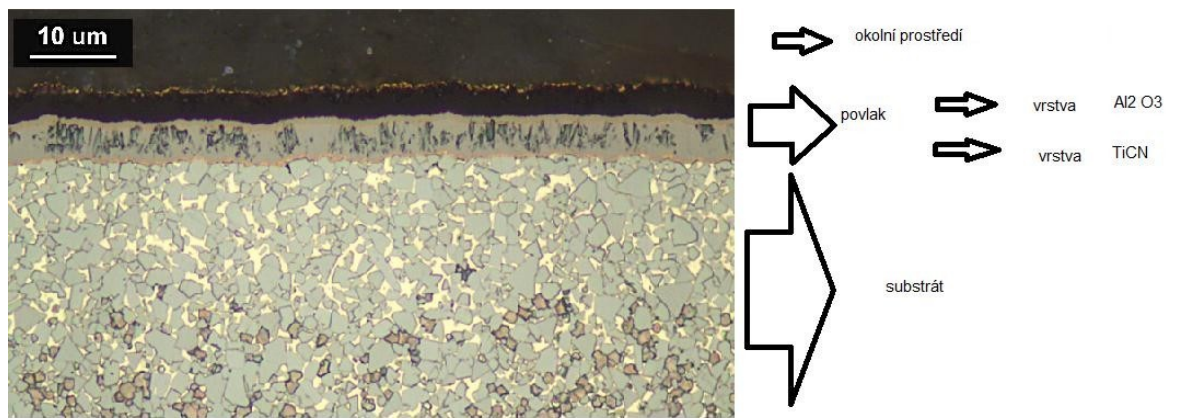


Obr. 4.4 Struktura funkčně-gradientního substrátu

Destička se povlakuje jednotlivými vrstvami Al_2O_3 a TiC a TiN. Povlakuje se metodou CVD. Nosnou vrstvou povlaku je oxid hlinitý Al_2O_3 , který se vyznačuje chemickou odolností a vysokou tvrdostí za tepla. Při obrábění to má za následek zvýšenou odolnost proti vymílání čela a oxidaci vedlejšího hřbetu. Další složkou povlaku je titankarbonitrid TiCN. Při obrábění se projevuje vysokou odolností proti otěru hřbetu. Pro T 7335 jsou tyto vrstvy v těchto tloušťkách, viz tab.

Tab. 4.2 Tloušťky jednotlivých vrstev povlaku v micrometrech:

Označení materiálu	Substrát	Povlak (μm)		
		Ti(C,N)	Al_2O_3	Povlak celkem
T 7335	353	3-5	2,5 – 3,5	6 - 8



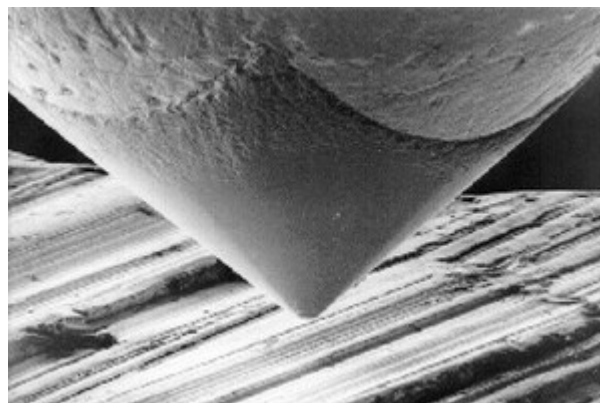
Obr. 4.5 Řez jednotlivými vrstvami destičky

Měření zaoblení u VBD

Pro tuto zkoušku je velice důležité znát reálnou hodnotu zaoblení řezné hrany. Jednotlivé vzorky VBD se proměřovaly pomocí dotykového hrotu na měřícím zařízení MAHR Marsurf XC20 s vyhodnocovacím softwarem MarWin.



Obr. 4.6 Měřící zařízení MAHR Marsurf XC20 ⁹



Obr. 4.7 Zvětšený dotykový hrot měřícího zařízení ¹⁵

4.2. Testování trvanlivosti VBD

Stroje a zařízení

Jednotlivé zkoušky probíhaly ve zkušební laboratoři společnosti PrametTools na CNC soustruhu MAS Standard S80i



Obr. 4.8 Obráběcí centrum MAS Standard S80i ⁷

Soustruh S80i PRIM výrobce Kovosvit Mas.

Základní technická data: ⁷

Oběžný průměr nad ložem: 680mm

Max. obr. průměr: příruba/hřídel 465 v délce 250/370

Max. délka soustružení: 1080 mm

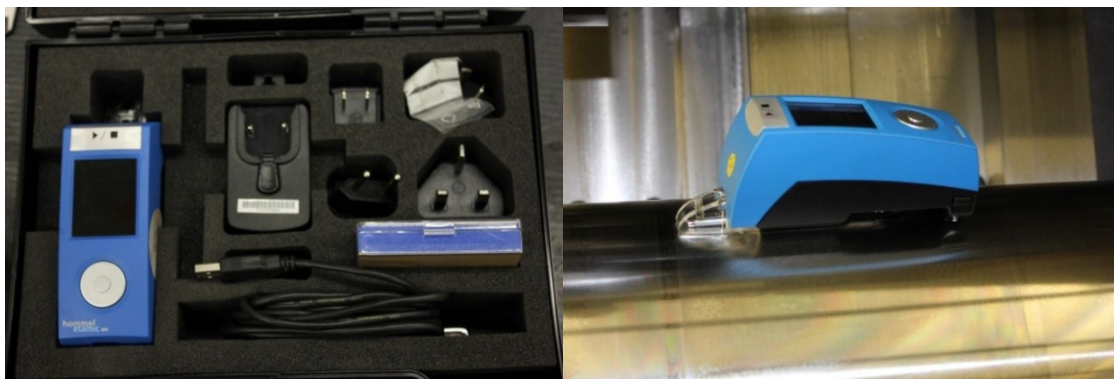
Max. hmotnost dílce: 70/240 kg

Rozsah otáček: 1-3800 ot/min

Zdvih suportu v ose Z: 1070 mm

Zdvih suportu v ose X: 275mm

K měření drsnosti byl použit mobilní drsnoměr Hommel-etamic W5



Obr. 4.9 Drsnoměr Hommel-etamic W5

Parametry: ⁵

- drsnoměr třídy přesnosti 1, podle DIN 4772
- barevný displej se semaforem tolerancí
- možnost sestavení až 5 měř. programů
- paměť na 100 profilů, max. 10 000 měření
- snímače T1E/T3E - kompatibilní se snímači pro HOMMEL-ETAMIC T1000 basic
- ochrana snímače s LED osvětlením
- možnost připojení tiskárny P5 přes Bluetooth rozhraní

Vyhodnocování opotřebení jednotlivých VBD bylo prováděno pomocí dílenského mikroskopu Carl Zeiss Jena s elektronickým odměřováním souřadnic.



Obr. 4.10 Dílenský mikroskop Carl Zeiss Jena

Snímky opotřebení byly prováděny binokulárním stereomikroskopem Vision Engineering SX45 s připojenou CCTV/digitální kamerou.



Obr. 4.11 Stereomikroskop Vision Engineering SX45




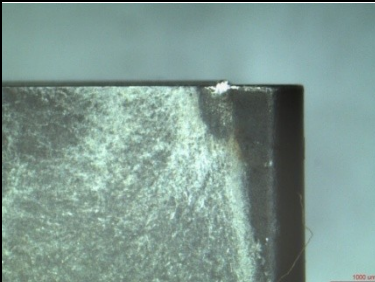
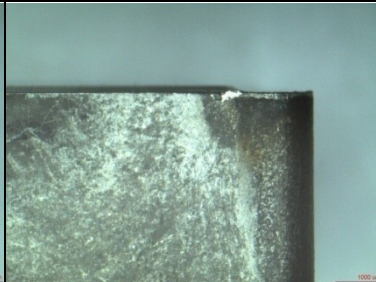
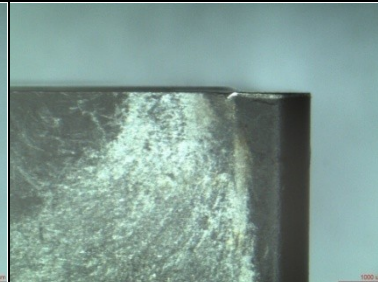
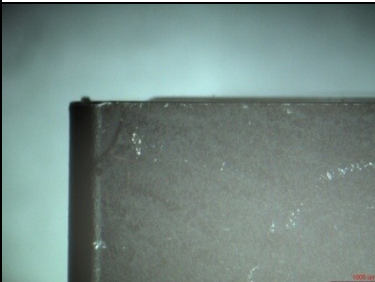
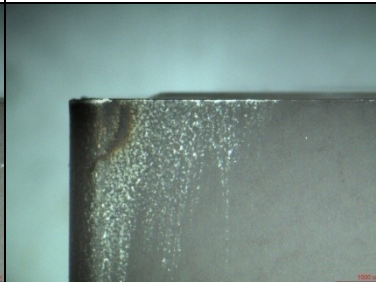
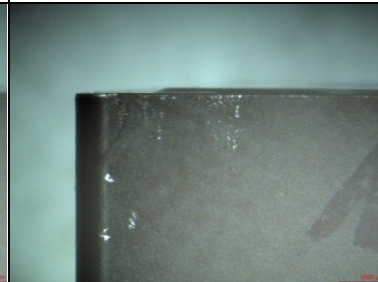



Testování trvanlivosti VBD

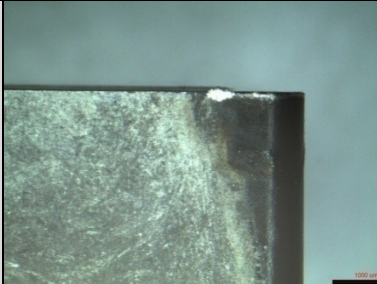
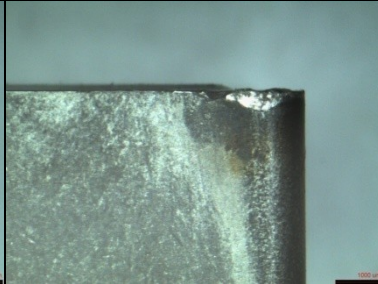
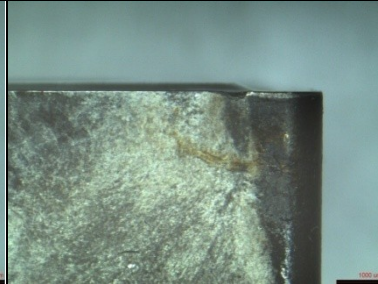
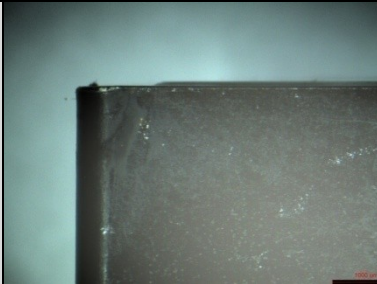
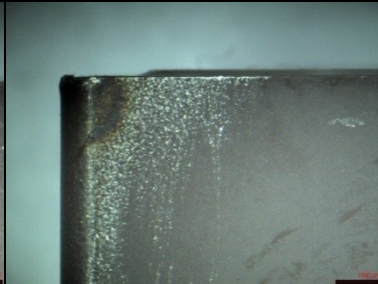




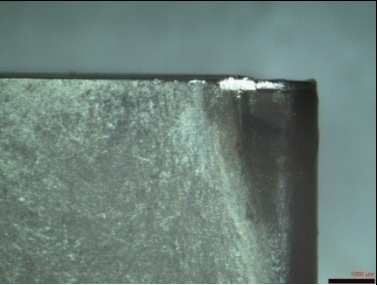
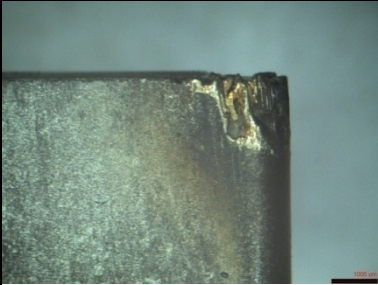
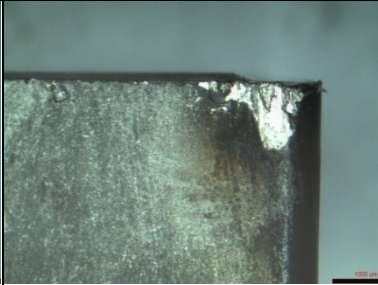
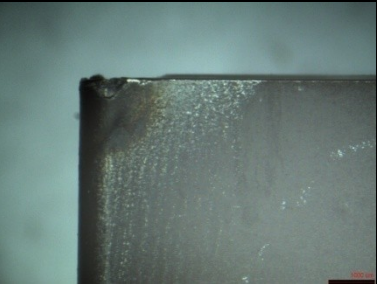
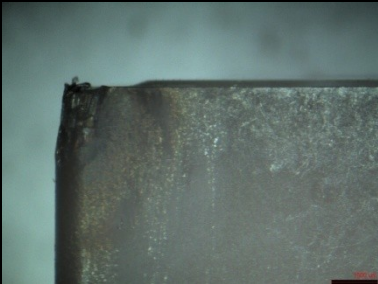
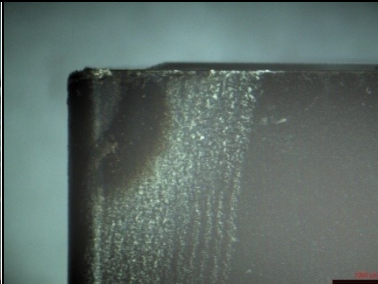
Protokoly z měření s výsledky zkoušky v příloze 1. Opotřebení bylo měřeno po 2,5 minutách. Snímky opotřebení byly prováděny po 5ti minutách.

Tab 4.5 Řezné podmínky

Nastavovaná veličina	Hodnota
Řezná rychlost [m/min]	200 m/min
Posuv [mm/ot]	0,25 mm/ot
Hloubka řezu [mm]	1,50 mm
Povrchová kůra	N
Přerušovaný řez	N
Chladicí kapalina	A
Čas jednoho záběru [min]	2,5 min

Tab 4.6 Zobrazení opotřebení destiček

		Velikost zaoblení ostří		
		50μm (A1)	40μm (B1)	30μm (C1)
5. minuta	cc - čelo			
	hh – hlavní hřbet			
	vh – vedlejší hřbet			
		50μm (A1)	40μm (B1)	30μm (C1)
10. minuta	cc - čelo			

15. minuta	hh – hlavní hřbet			
	vh – vedlejší hřbet			
	50µm (A1)		40µm (B1)	30µm (C1)
	cc - čelo			
	hh – hlavní hřbet			
	vh – vedlejší hřbet			

Tab. 4.7 Popis opotřebení destiček

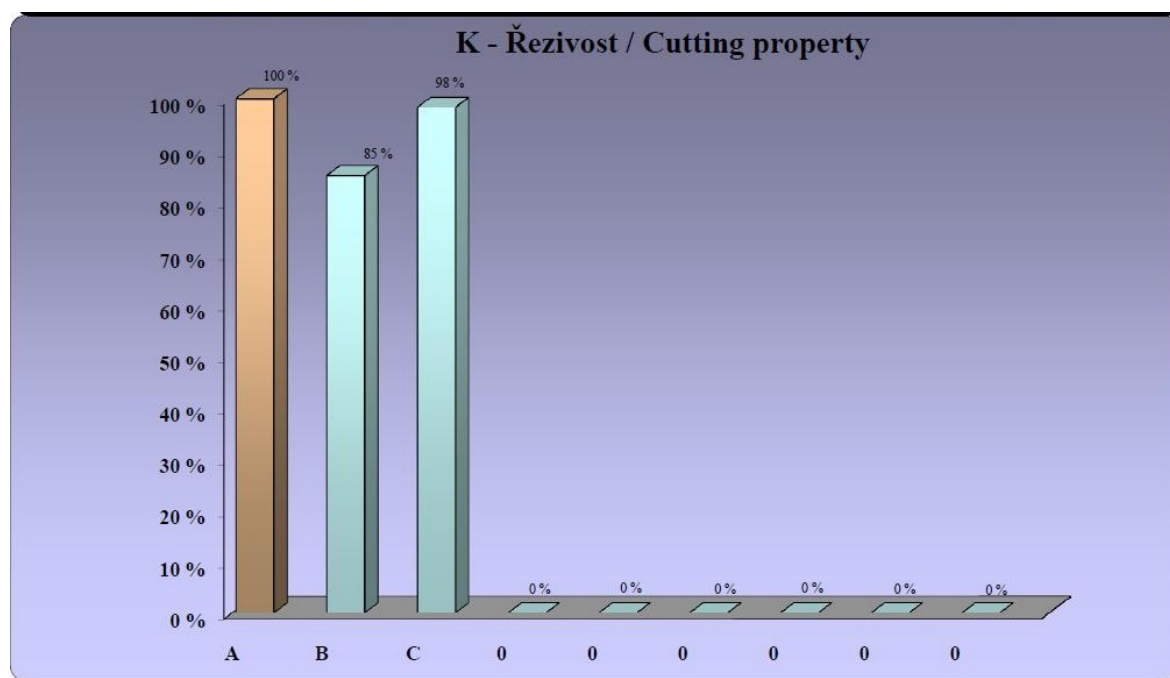
	Zaoblení hrany 50 μm	Zaoblení hrany 40 μm	Zaoblení hrany 30 μm
5. minuta	Můžeme vidět vytvoření malého nárůstku a mírné opotřebení řezné hrany	Můžeme vidět vytvoření malého nárůstku, vylomení malé části hlavní bříty vedle nárůstku a mírné opotřebení řezné hrany	Po 5 minutách můžeme pozorovat vylomení velice malé části hlavního bříty a velice malého nárůstku. Nízké opotřebení
10. minuta	Můžeme pozorovat větší opotřebení řezné hrany a zvětšení původního nárůstku přibližně na dvojnásobek velikosti v 5. minutě	Vytvořil se velký nárůstek (cca 1000 μm), vylomená část na hlavním bříty se mírně zvětšila	Pozorujeme mírné zvýšení opotřebení a rozšíření malého vylomení části hlavního bříty. Zároveň se zde vyskytuje i mírný nárůstek, přibližně stejné velikosti jako 5. minutu
15. minuta	Po 15 minutách můžeme pozorovat zvětšení nárůstku přibližně na čtyřnásobek velikosti z 5. minuty, dále výrazné opotřebení řezné hrany a porušení vedlejšího bříty	Po 15 minutách nastala destrukce bříty a celé špičky nástroje	Přibližně po 12,5 minutách nastala skoková destrukce (viz. graf 4.3) velké části hlavního bříty a části špičky.

4.3. Vyhodnocení zkoušky

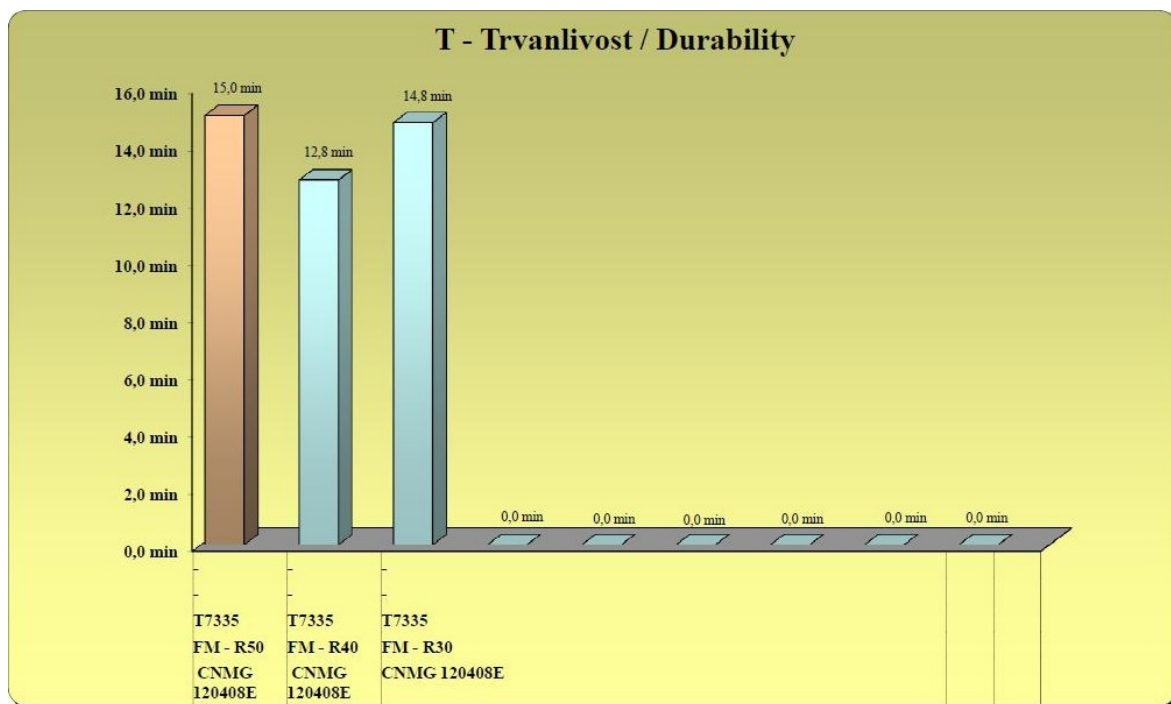
Z experimentu jednoznačně nevyplyvá, jaká velikost zaoblení je pro obrábění korozivzdorné oceli materiálem T7335 nejvhodnější (s ohledem na trvanlivost). Pro tento experiment můžeme říci, že rozdíly v zaobleních v rozsahu 30-50 μm nemají jednoznačný vliv na trvanlivost. Pro jednoznačné určení vlivu velikosti zaoblení na trvanlivost měly být v experimentu použity větší rozdíly zaoblení. Doporučuji rozdíly alespoň 30 μm tzn: 30 μm 60 μm , 90 μm .

Při této zkoušce měl nejvyšší řezivost a trvanlivost vzorek A se zaoblením 50 μ m. Prakticky stejného výsledku dosáhnul vzorek C se zaoblením 30 μ m. Vzorek B se zaoblením 40 μ m dopadl nejhůře jak v řezivosti, tak i v trvanlivosti. Viz. graf 4.1 a graf 4.2. Výsledná drsnost obrobeného povrchu byla nejlepší u vzorku A1 ($R_a=1,760\mu$ m) a nejhorší u vzorku C1 ($R_a=1,990\mu$ m). Drsnost byla měřena v 2,5 minutě. Průběh opotřebení je znázorněn na grafu 4.3.

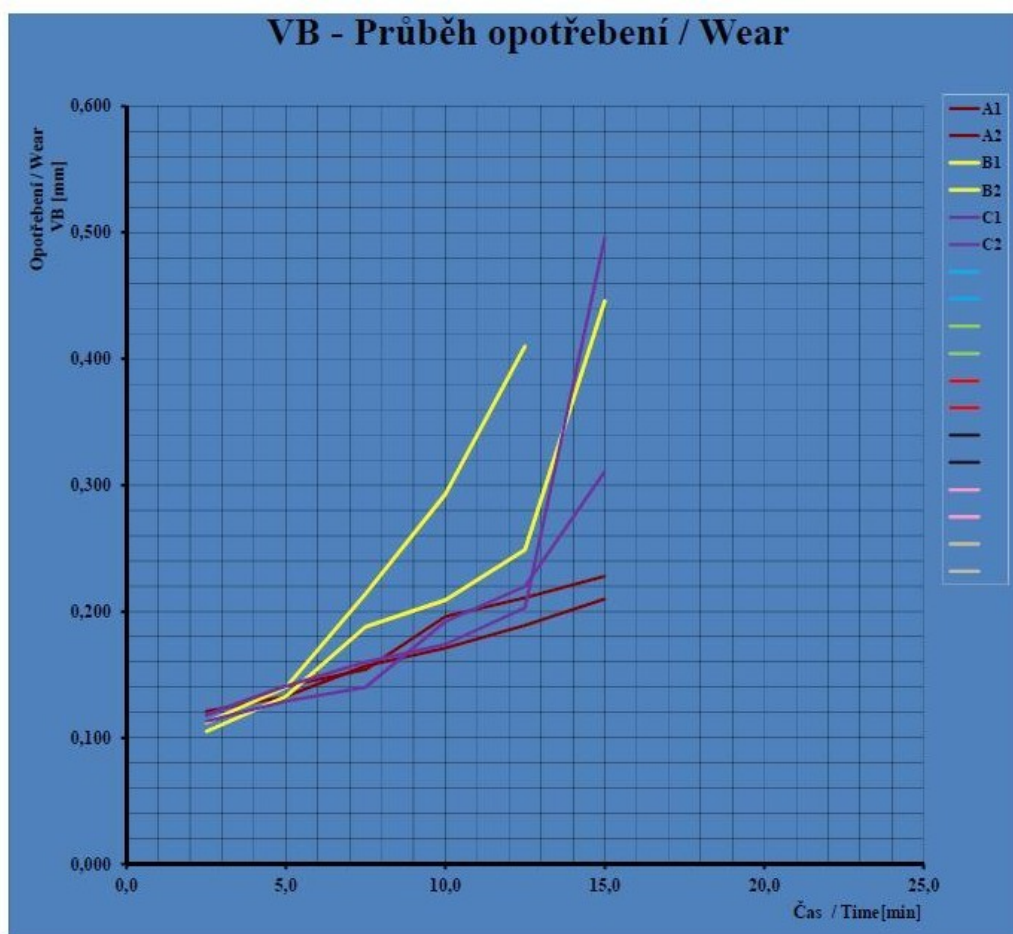
Na výslednou trvanlivost břitu za jinak stejných podmínek má velký vliv celá řada faktorů: např: kvalita obráběného materiálu, kvalita povrchu řezné hrany, zkouška s chlazením či bez chlazení atd. Většinou se ve zkušebně PrametTools provádí zkoušky bez chlazení, ale u této zkoušky jsme museli použít chladicí kapalinu. Občas je dodaný vzorek konstrukčního materiálu tvrdší. Ne vždy má materiál naprosto stejné vlastnosti, přestože má stejné označení.



Graf 4.1 Porovnání řezivosti jednotlivých zaoblení



Graf 4.2 Porovnání trvanlivosti jednotlivých zaoblení



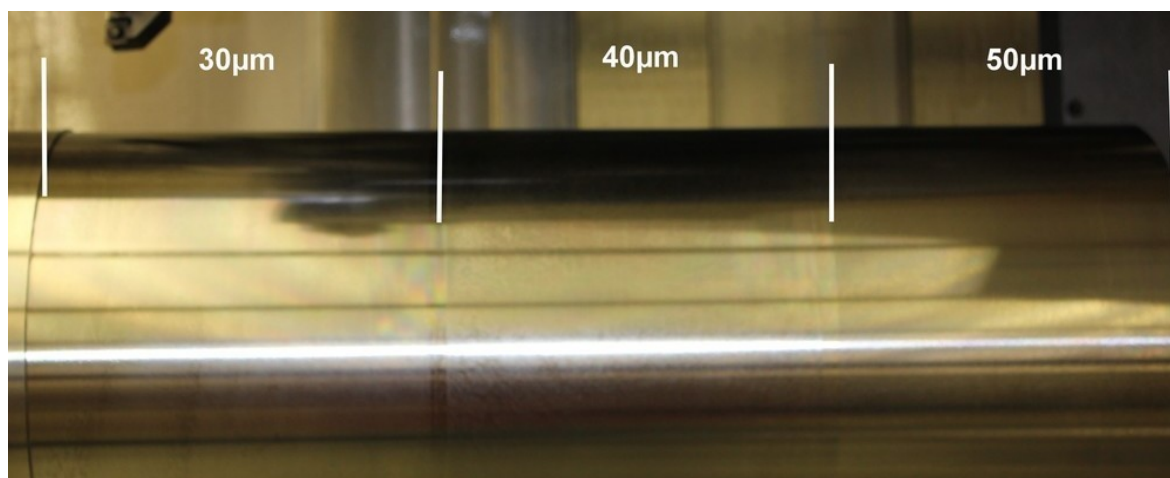
Graf 4.3 Průběh opotřebení jednotlivých vzorků

Vizuální vlastnosti obrobeného povrchu:

Povrch, po obrobení VBD s menším zaoblením, se jevil vizuálně lepší a lesklejší, což může být pro zákazníka také důležité. Nejmenší drsnost obrobeného povrchu vykazovala VBD se zaoblením 50 μ m, konkrétně $R_a=1,760\mu$ m, viz. Tab. 4.7. Drsnost byla měřena jen v prvním úseku obrábění z důvodu následného opotřebení destičky. Viz. obr. 4.12

Tab. 4.8 Drsnosti obrobeného povrchu

Zaoblení hrany 30 μ m	Zaoblení hrany 40 μ m	Zaoblení hrany 50 μ m
$R_a=1,990\mu$ m	$R_a=1,900\mu$ m	$R_a=1,760\mu$ m



Obr. 4.12 Obrobená plocha vzorku

Tříska

Materiál tvořil uspokojivou třísku tvářenou článkovitou. Jednotlivé články jsou běžným okem rozeznatelné a snadno se lámou. Viz. obr. 4.13



Obr. 4.13 Tvořená tříska

5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Velikost zaoblení má vliv na mikrotvrdost obrobené plochy, velikosti řezných sil, mírný vliv na drsnost povrchu (měřeno) a také i na vzhledové vlastnosti povrchu (vizuální zhodnocení) a mnoho dalších ukazatelů kvality řezného procesu. Praktický experiment byl pojat poměrně úzce. Hodnotil se pouze vliv velikosti zaoblení na trvanlivost a doplňkově na drsnost obrobené plochy.

Z praktických testů vyplývá, že nejnižší opotřebení vykazují VBD se zaoblením 50 μm . Druhé nejnižší opotřebení mají VBD se 30 μm . Největší opotřebení můžeme pozorovat na VBD se zaoblením 40 μm . Standardně používané zaoblení u starších řezných materiálů pro CNMG 120408E-FM je 40 μm . V porovnání s výsledky testů 40 μm nevypadá příliš logicky. Berme však v úvahu, že se jedná o starší řezné materiály s jinými vlastnostmi.

Pro nový materiál T7335 vychází nejdelší trvanlivost se zaoblením o velikosti 50 μm . Teoreticky můžeme říci, že volba velikosti zaoblení 50 μm by byla ideální a řezný proces byl tak nejlépe zvládnutý. Ve skutečnosti však musíme do obrábění zahrnout i mnoho dalších vlivů jako: řezné síly, mikrotvrdost obrobené plochy, vzhled a drsnost obrobeného povrchu, vibrace, velikost tepelně ovlivněné oblasti, teploty při řezání, a v neposlední řadě i samotné utváření třísek.

Pro obrábění korozivzdorných ocelí teorie říká, že nejlepší výsledky dosáhneme ostrým břitem s pozitivním úhlem čela. Prakticky to pro řezný proces znamená :

- Nízké řezné síly
- Nižší teplota v oblasti řezu
- Omezení tvorby nárůstku
- Nižší zpevnění obrobené plochy

Vezmeme-li v úvahu teoretické předpoklady, výsledky testů a zkušenosti odborníků z firmy Pramet tools, můžeme konstatovat, že nejlepší volbou pro CNMG 120408E-FM bude nižší velikost zaoblení. FM utvařeč je doporučován pro střední obrábění v rozmezí posuvů $f=0,15-0,45\text{mm/ot}$ a hloubek řezu $a_p=0,8-3\text{ mm}$ a není vhodný pro hrubování s velkým zatížením ostrého břitu. Není zde tedy riziko přetížení břitu a s ohledem na vysokou houževnatost materiálu T7335 si můžeme dovolit menší zaoblení břitu.

Závěrem doporučujeme pro výrobu VBD CNMG 120408E-FM; T7335 zaoblení řezné hrany o velikosti 30 μm . Pro větší velikosti VBD a jiné (pevnější) geometrie utvařečů, určené pro těžší řezné podmínky, doporučujeme zvolit zaoblení větší než 45 μm .

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. Z VŠB-TU Ostrava za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, společnosti Pramet Tools s.r.o. za poskytnutí údajů ze zkoušek a Ing. Jiřímu Jeníkovi z Pramet Tools s.r.o. za pomoc a cenné rady při zkouškách.

Zdroje

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I: I. Díl*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80–7078–811–9.
- [2] BOHDAN BOLZANO. *X2CrNiMo17-12-2* [online]. c2004, [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/zaruvzdorne_oceli/korozivzdorne/Materialovelisty/austeniticke/X2CrNiMo17-12-2/>.
- [3] CEMECON. *Úprava mikrogeometrie ostří* [online]. [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.cemecon.cz/technologie/uprava-mikrogeometrie-ostri.aspx>>.
- [4] HLUCHÝ, M.; HANĚK, V. *Strojírenská technologie: 2. díl, Koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. 2., upravené vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-245-6
- [5] HOMMEL CS. *HOMMEL-ETAMIC W5*. [online]. [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.hommel-etamic.cz/produkty/hommel/hommel-etamic-w5>>.
- [6] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MMPublishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978–80–254–2250–2.
- [7] INDUSTRY ONLINE. *Offers: CNC turning on lathe S80i*. [online]. [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.industryonline.cz/en/cnc-turning-on-lathe-s80i--clasified-4444/>>.
- [8] KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2
- [9] MAHR. *MarSurf XC 20 – Mahr metrology*. [online]. [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.mahr.com/index.php?NodeID=2736>>.
- [10] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80–7078–941–7.
- [11] MMSPEKTRUM. *Nový řezný materiál pro soustružení* [online]. c2013, [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/novy-rezny-material-pro-soustruzeni.html>>.
- [12] MMSPEKTRUM. *Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů* [online]. c2013, [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html>>.

- [13] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978–80–8070–711–8.
- [14] Soustružení. Šumperk: PrametTools, s.r.o., 2012. 342 s.
- [15] SWISS INSTRUMENTS. *Mahr metrology MarSurf*. [online]. c2012, [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <http://swissinstruments.com/mahr_metrology_marsurf.html>.
- [16] PRAMET TOOLS. *O společnosti - Pramet*. [online]. c2013, [cit. 4. 5. 2013]. Dostupné z: <<http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>>.

Přílohy:

Příloha 1 Protokol zkušebny o obrábění

Příloha 2 ISO systém značení VBD

Příloha 3 ISO systém značení nožů pro vnější soustružení